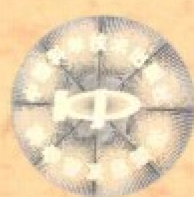
"十一五"国家重点图书出版规划项目·科技史文库



中国天文学史大系

中国古代天文学家

陈久金　主编



中国科学技术出版社

K826.14/9

2008

“十一五”国家重点图书出版规划项目

中国天文学史大系

中国古代天文学家

陈久金　主编

中国科学技术出版社

·北 京·

图书在版编目(CIP)数据

中国古代天文学家/陈久金主编. 一北京：中国科学技术出版社，2008.3
(中国天文学史大系)
ISBN 978-7-5046-4839-6

Ⅰ.中… Ⅱ.陈… Ⅲ.天文学-科学家-生平事迹-中国-古代 Ⅳ.K826.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 182663 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志，未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码：100081
电话：010－62103210 传真：010－62183872
http://www.kjpbooks.com.cn
科学普及出版社发行部发行
北京长宁印刷有限公司印刷
*
开本：787 毫米×960 毫米 1/16 印张：37 字数：684 千字
2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷
印数：1－2000 册 定价：93.00 元
ISBN 978-7-5046-4839-6/K・56

(凡购买本社的图书，如有缺页、倒页、
脱页者，本社发行部负责调换)

《中国天文学史大系》编委会

顾　　问　钱临照

总主编　王绶琯　叶叔华

主　　任　薄树人

编　　委　（以汉语拼音为序）

陈久金　陈美东　陈晓中　崔振华
杜昇云　卢　央　吕建华　苗永宽
全和钧　王　宜　吴守贤　席泽宗
肖耐园　许　英　徐振韬　张培瑜
庄威凤

编辑组　吕建华　许　英　余　君　郑洪炜
崔　玲　赵　晖　李惠兴　陈　君

策划编辑　吕建华　许　英

责任编辑　许　英　余　君

封面设计　赵　鑫

责任校对　刘红岩

责任印制　王　沛



总 序

中国古代天文学建树非凡，遗泽久长，是我们民族的骄傲。我一直怀着崇敬的心情向往着这份文化珍宝。只是数十年漫漫学海中有许多错过的机缘，以致今天仍还像是一个鹄立在圣殿门前的朝圣者，终未能进入门庭。尽管如此，我仍然感受到很大的喜悦、有幸在新中国成立初期百废待兴之际，见证了在竺可桢先生的倡导下，中国古代天文研究跨出了前所未有的聚集人才、系统"攻关"的步骤，而从那时起经两代人的努力，资料齐集，成绩斐然。如今又促成了这一由中国科学院自然科学史研究所牵头，组织全国各单位的天文学史研究者齐力完成的学术壮举——一部上起夏商，下逮近代，罗列我国古天文学万象的六百万言鸿篇巨制！

纯粹用现代科学的眼光审视古代天文学，首先，它是一门旨在认识天文世界——发现天文现象、探究天文规律的自然科学。这和今日的学科定位并无不同。其次，它是一门"观测的科学"，今日也仍然如此。如果把天文观测工具的"古"的界限设在天文望远镜应用之前，那么古代天文学眼界中所有的天体不超过 7000 个，这使得天文实测研究的对象限于几个太阳系天体的表象及其运行轨迹，星空的监测以及几千个恒星的定位和陈列。这些，中国和其他古代文明的情况基本上一致，可以认为是历史的必然。

与之相应的天文理性认知的探求，这样规模的"天"，相对于地上的万物和人间的万众，虽然仍然是伟大、永恒，但也显得比较简单、稳定，导致了我国古代"天覆地载，人居于中"、天地人"三才"协调的宇宙观。这在一方面形成了宇宙结构、天体演化、天人感应的种种学说，成为我国古代哲学思想的一个组成部分；另一方面，把天文实测结果的解释引向到"天文"与"地理"的相关性、"天道"与"人事"的相关性的探求。前者把"天"联到了"地"，导致了在"时政"、"编历"这些"国之大政"上的应用；后者把"天"联到了"人"，应用到了当时同样属于"国之大政"的"星占"。这

些"应用天文学"备受尊崇，历代政权为之设立专职，在设备投资、人员培训上享有优遇，结果在历史长卷中成为我国古代天文学发展的主线索：保持了天象监测的长期持续性、主导了一代代天文仪器、实测方法的研究和发展以及一代代历算方法(和有关数学)的研究和发展。由此形成的堪称完整的体系，加上求实、求精的敬业传统，为我们留下了大量宝贵的历史资料和学术资料(其中也包括了与之相互影响的历代官方与非官方的天文著述，也包括了频繁出现的天文文物)。这种由长期皇权统治产生的古代版的"任务带动学科"的发展模式，历史功过暂且不去评论，但这份"资料宝库"对于今日中国天文学史工作者来说则是巨大的学术资源，当然同时也是巨大的责任，要很好地发掘和整理。

继 20 世纪 70 年代后期天文史料的一次大规模整理，中国天文学史工作者"自 1979 年起开始思索：是否有可能编著一部与中国天文学的悠久历史和广阔的内涵相适应的中国天文学史著作？商议的结果便是《中国天文学史大系》构想的诞生"(薄树人先生语)。

天文学是我国古代最发达的自然科学之一，在华夏科学、文化史中是一个具有连贯性的组成部分。在《中国天文学史大系》(以下简称《大系》)的全套书结构中，《中国古代历法》、《中国古代天体测量学及天文仪器》、《中国古代星占学》、《中国古代天象记录的研究与应用》、《中国古代天文学思想》、《中国古代天文机构与天文教育》、《中国古代天文学家》各立一卷，以概全面。完成这样的一部《大系》，可谓是从一个重要的侧面来认识华夏文化的源与流。

近世 100 多年，华夏文化受西方文化的冲撞，激湍跌宕，对传统文化的理解和传承出现前所未有的震动，至今波澜未已。其间在天文学上体现为结束古代传统、"转轨"西化、进入近现代的航道。《大系》中所设的《中国古代天文学的转轨与近代天文学》一卷，阐述了这一时期的历史。

全套书中用《中国少数民族天文学史》一卷介绍了对同属华夏文化的发掘和整理，是一项开辟性的探索。另一卷《中国古代天文学词典》篇幅达 47 万字，对天文典籍阅读者是十分有用的工具，也是好伴侣。《大系》共 10 卷，每卷 40 万到 80 万字。格局齐整，足以副"大系"之称。这是当年我国一代中青年天文学史工作者"聚水成渠"的宏愿。回溯"五



四”运动大潮中，我国现代天文学的先驱者们在率先“西化”的同时就着力启动了我古代天文学遗产的自力发掘和整理。60年过后我们喜见《大系》的构思(1979)，然后是构思落实为计划(1990)、诞生了文稿(1999)，现在文稿得以付梓(2007)完成了“多年修就的善果”(陈美东先生语)。

《大系》从构思到面世历时四分之一世纪。多位学者为之贡献了属于一生中最好的年华。他们如今青丝成雪，有几位且已过早地离开了我们。编委会主任薄树人先生从一开始就为《大系》的筹、编、写呕心沥血，奋斗到了最后一息(1997)。继后陈美东先生以令人钦佩的执着挑起担子，完了大家的宏愿。而他们二位在本书跋记中所透露的甘辛，或亦足以在相应历史中着上耐人寻思的一笔！

王绶琯

2007年7月于北京





前　言

中国正处在科学文化走向繁荣昌盛的时代。在向四个现代化迈进的征途中，中国科学技术史的研究工作也取得很大的进展。中国天文学史整研小组的《中国天文学史》和陈遵妫的《中国天文学史》对中国天文史的研究工作已经做出了系统整理和初步总结。与此同时，中国的天文史家对中国的历法史、仪器史、天测史、宇宙理论和其他天文学史研究的专题论文和专著也相继出现，中国天文学史的研究工作正向纵深发展。在这种形势下，也曾出现过若干有关天文学家的研究论文，出版过介绍某些天文学家的书，但总的说来，有关中国古代天文学家的研究工作开展得还不够，尤其缺少系统的研究论著。为了填补这个方面的空白，国内的天文史家合作，系统地开展了中国古代天文学家的研究工作。

这项计划自1980年夏开始酝酿，就其宗旨和体制曾经进行过多次协商，并做出了明确的分工。经过4年的努力，这项研究工作已大致完成，并于1984年7月邀请了10位天文史家在大连进行了集体审阅。在审阅中强调了既定的研究宗旨，对各章节提出了许多宝贵的修改意见，为提高质量作出了重要的贡献。会后各位作者根据这些意见，又对各自承担的人物重新做了研究和改写。以后又历经多次修改。参加本书审稿工作的有：车一雄、卢央、刘金沂、全和钧、陈久金、陈美东、席泽宗、郭盛炽、潘鼐、薄树人（以姓氏笔画为序）。

清代阮元等人编撰了《畴人传》一至四编，曾汇编辑录了六百余名中国历代天文数学家的主要历史文献，对有些人物还附有简短的评论，为后人了解和研究中国古代天文数学家提供了方便。然而，对古人的有关文献辑录毕竟不是研究。由于文字艰深难读，一般的读者很难通过《畴人传》立即对某个人物科学的成就有明确概念。另外，由于古代文献的局限性，对某些人物很难用文献辑录这种形式将他的全部科学成就概括出来，有些人物的主要科学成就甚至一点也没有得到反映。例如，对郗萌这个人物，《畴人传》中仅引载《晋书·天文志》中有关宣夜说的一段简

短的记载，人名误写为郄萌，对人物的生活年代也由东汉前期误置为东汉末年；像虞喜发现岁差这件重要的大事，在《畴人传》中就几乎没有文献；有关何承天发明调日法，由于没有直接的文献可以辑录，《畴人传》只得缺漏；祖冲之大大改进了回归年的精度，如何求得却无文献记载，故《畴人传》也无丝毫反映。而本书有关论文在对这些人物进行深入研究时，便可利用各种间接的文献，探索出其中的来龙去脉。作为一项专题研究，它比《畴人传》的辑录工作要系统和深入得多。

本书是对中国古代天文学家进行系统研究所做的初步尝试。它具有统一的计划，共收入中国古代最著名的天文学家 58 名，按历史时代分章，按人物分节，每节平均在一万字左右。在这 58 位人物中，以往的研究基础不等，有的已经研究得较为透彻，有的则基本处于空白状态，有的参考文献十分丰富，有的可以参考的文献很少。本书是属于学术研究的性质，因此要求各章节在学术上比前人的工作都应有所前进和提高，概括和汇编性质的文章不予收入。

本书要求对各个人物的生平，尤其是与天文研究有关的活动，做一准确的概括性的介绍。所收入的许多人物在学术上的贡献是多方面的，本书仅从天文学的角度来进行研究，对其他学科的问题不作阐发。本书的写作原则是既要求大事不漏，又要求集中较多的篇幅做出新的深入的探讨。大事不漏，可以给读者勾画出这个人物在天文学上成就的完整形象；集中力量从事新的探讨，是为了强调本书在人物研究上，力争要取得新的进展和突破。

本书对每一位天文学家的研究，都力求引用文献准确无误，逻辑推理严密。尤其对于前人没有涉及的新内容和新观点，应详加阐述和论证。对于有争议的问题，则提倡不同学术观点的互相争鸣。因此，在本书各节中可能会出现并不完全一致的观点。我们并不强求统一。

在《畴人传》收入的六百余名天文数学家中，有半数以上都在天文学上作出过不同程度的贡献。诚然，由于各人贡献有大小，历史文献有详略，几个字或一句话的历史记载即能在《畴人传》中列传，但对于这类人物的独立研究却难以办到。因此，可以列入本书的人物要比《畴人传》少得多。由于时间和人力的限制，本书只收入 58 位人物。成就卓著属于



第一流的天文学家绝大多数都已经入选。当然,还有相当一部分有贡献的很值得研究的天文学家没有能够列入,这是一种缺陷,只能留待以后有条件时再行补足。

对于一个民族来说,将58位成就卓著的古代天文学家的事迹汇集在一起,其涉及的范围已属相当可观。任何一段历史、任何一番事业,都是通过具体的典型人物的实践来完成的,本书就是想通过对这些形形色色人物的实践和持续不断的创造发明的剖析,使我们更深刻地认识和理解中国古代天文学的发展历史。

科学技术的发展具有继承性,天文学上的每一项进步都是建立在前人基础之上的,无不借鉴前人的经验和成果。本书选取的天文人物按时代分布大致是均衡的,各个朝代大都有其代表人物。但从所选人物的多寡和成就的大小,也能反映出那个时代天文学发展的状况。中国古代天文学大致是在相对隔绝的状态下独立发展起来的,形成体系以后仍然沿着自己特有的文化传统向前发展。天文学的发展有一个知识积累的过程,随着本书各天文学家的各项创造发明的逐项展开,一条清晰的发展阶梯便立即呈现在我们面前。整个中国历法发展史,郭守敬曾经把它总结为创法十三家,随着方法的改进,历法便益显进步,至授时历便熔为一炉。天文仪器的逐步发展,仪器上每个部件的增减及其在天文学上的意义,在本书中也都有脉络可寻。



本书所载58位天文学家,在中国天文发展史上都曾作出过不同程度的贡献,是科研道路上的成功者。书中各章节对他们的成功之路也做了一定的探讨。显然,各人在科研道路上的经历是千差万别的,没有一个简单的成功的秘诀。有的在青年时便才华横溢,具有超群的科学知识和非凡的科学头脑。有的则终身勤奋好学,注重实测,直至老迈之年才达到炉火纯青的境界。如果说这些成功者有什么共同诀窍的话,那就是都具有勤奋苦干精神、坚定的信心和顽强的毅力,另外还需要有一个正确的方向和方法。

搞科学研究是需要有坚强的毅力和献身精神的。一旦选定了研究方向就要持之以恒,不达目的决不罢休。北齐张子信隐于海岛从事天文观测30年,发现日月五星的不均匀运动和视差对于交食的影响,终于开

创了隋唐天文学的新局面;汪曰桢为编撰《历代长术辑要》,接连奋斗30年才出成果。没有坚强的毅力和持之以恒的奋斗精神,尽管有了一项伟大的又行之有效的研究计划,也将半途而废,达不到目的。

在科学研究的道路上决不是一帆风顺的。要经得起挫折和打击,既要勇于探索,敢于革新,又要有不怕嘲讽,不畏权势,敢于同传统保守思想作斗争的勇气。祖冲之的大明历受到贬斥,突出反映了传统保守势力对于科学文化发展的敌视和迫害,祖冲之为捍卫真理而勇敢地进行斗争,终于确立了大明历的科学地位,对整个南北朝时代都产生了深远的影响。正是科学家的这些可贵的品质,才促使他们获得成功。

在这58位人物中,各人经历互不相同。有的是专职天文官员,有的是业余天文学家;有的在历法发展上作出了杰出的贡献,有的则在仪器制造或恒星观测等方面取得显著的成就;有的仕途得意,有的则穷困潦倒,终身不得其志。但他们在不同的环境下,对天文学都作出了重要的贡献。

作出过重要贡献的著名科学家同样也是人类的一员,他们也有错误和缺点,也有喜怒哀乐。不同于凡人之处仅在于他们具有广博坚实的科学知识和勇于追求真理做出科学革新的精神。本书在对天文学家的主要贡献进行深入探索的同时,对于他们的思想行为和各人特殊的气质也偶有涉及。我们不但要讨论他们在天文学上的成功,同时也讨论他们的错误和不足之处,讨论他们在研究工作中所经过的艰难曲折的道路,总结出他们在科学研究中成功和失败的经验教训。我们希望通过这本书,一方面将这些天文学家的生平事迹和在天文学上所取得的光辉成就,系统地透彻地介绍给广大读者,另一方面总结古人成功和失败的经验,为后人提供借鉴。



陈久金

2007年10月

于中国科学院自然科学史研究所



目 录































第一章　先秦天文学家

第一节　羲　和

一、羲和是远古时代的天文官

有人据古史记载，黄帝时有羲和，帝尧和夏代初年也有羲和，《山海经》中的羲和又是女子，于是便认为羲和是神话故事中的人物。我们认为，在中国历史上，羲和是确实存在的，但不是人名，而是官名，或者是职务名。

有关羲和的记载，可上推至黄帝时代。《史记索隐·历书》引《系本》说："黄帝使羲和占日，常仪占月。"根据此说，羲和是黄帝时代专门观测太阳确定季节的天文官。

帝尧时关于羲和的记载比较多。《尚书·尧典》说："乃命羲和，钦若昊天，历象日月星辰，敬授人时。"此时，羲和承担了观测天象、制订历法、敬授人时的重任。《史记·历书》也说："尧复遂重黎之后，不忘旧者，使复典之，而立羲和之官。明时正度，则阴阳调，风雨节，茂气至，民无夭疫。年耆禅舜，申戒文祖，云'天之历数在尔躬'。舜亦以命禹。由是观之，王者所重也。"从这些记载来看，羲和为王者身边的天文官，是较为明确的。不但帝尧恢复设立"羲和之官"，帝舜、帝禹也继承了这个传统(见图1—1)

夏朝时天文官员称为羲和，也有其他证据。《史记·夏本纪》说："帝仲康时，羲和湎淫，废时乱日，胤往征之，作《胤征》。"据此记载，羲和是一名历官，他的主要职务是测定季节，排定日子。但是，由于他整天沉湎于酒，废时乱日，所以受到了惩处。

正因为羲和是远古从事太阳和天体观测的天文官员，所以在古代神话故事和文艺作品中，羲和这个人物，也都是以与太阳有关的神出现。《山海经·大荒南经》说："羲和者，帝俊之妻，是生十日。"这里的羲和又是女子。关于"羿射九日"的传说故事，我们在后面还将讨论。郭璞《山海经》注引《启筮》说："空桑之苍苍，八极之既张，乃有夫羲和，是主日月，职出入以为晦明。"《山海经》说羲和是生十日并为之沐浴的女神。《启筮》则说是主管日月的出入，掌管晦明的大神。



图 1—1　清《钦定书经图说》中的羲和"命官授时图"

屈原《离骚》说："吾令羲和弭节兮，望崦嵫而勿迫。"把羲和想象成替太阳神驾御车子的大神。羲和赶着太阳神乘坐的车子，每天行经十六站而成昼夜的变化。[①] 不管大神也好，女神也好，在文艺家的笔下，羲和都是与太阳有关的，因此他无疑是远古的天文官。

正因为羲和是远古时的天文官，西汉王莽在托古改制时，才把主管天文历法的太史令改名为羲和，故《汉书·律历志》和《后汉书·律历志》都载有"羲和刘歆，典领条奏"等事。敬授民时，是古代帝王的重要政事，每个朝代都需设立天文官，所以远古各个时代几乎都有关于羲和的记载。有些人把羲和想象成某个具体的人物，

① 关于太阳每天行经十六站，请参见袁珂《古代神话选释·羿与嫦娥》，人民出版社，1982 年。西汉以前确有每日十六时段的分法，见《中国古代时制研究及其换算》，载《自然科学史研究》，第 2 卷第 2 期，1983 年。



那是不妥当的。至于把羲和说成是天神、女神，那只是文艺家笔下的想象而已。

二、羲和是中国最早的天文世家

天文学是一种专门的学问，需经过多年的刻苦学习和从小培养，才能熟练地掌握。历代天文学家又把它当作传家之秘宝，子孙的衣食饭碗，秘不他传，所以历代天文学家和天文官员大多父子相传，代代相接。例如，司马谈父子，祖冲之父子，庾曼倩、庾季才父子，瞿昙悉达祖孙四代，贝琳祖孙七世以天文与明相始终，比比皆是。

《史记·历书》说："幽、厉之后，周室微，陪臣执政，史不记时，君不告朔，故畴人子弟分散。"可见西周时的天文官员也是世袭的。司马迁就是畴人，他把天文学家称作畴人是很恰当的。《集解》引如淳曰："家业世世相传为畴，律年二十三传之畴官，各从其父学。"此说较为合理。清代阮元曾把中国历代天文数学家的事迹和论著辑录成书，定名为《畴人传》，正是取之此意。谈泰曾撰《畴人解》，对畴人之意做出过专门的考证，载在《畴人传》首页。可见中国天文学家代代相传，自古就有这个传统，而远古时称之为羲和的天文官，早就开创了这样的局面。

黄帝时就有羲和之官，颛顼时称之为重黎。《史记·历书》说："乃命南正重司天以属神，命火正黎司地以属民，使复旧常，无相侵渎。""尧复遂重黎之后，不忘旧者，使复典之，而立羲和之官。"《史记正义·五帝本纪》引《吕刑传》云："重即羲，黎即和，虽别为氏族，而出自重黎也。"古人一般都承认尧时的羲和之官，即相当于颛顼、帝喾时代的重黎，仅官名不同而已。

孔安国为《尚书》作传说："重，直龙反，少昊之后；黎，高阳之后。"[①]又孙星衍《尚书今古文注疏》引郑注说："重黎当颛顼之时，既为句芒祝融之官，其后即以重黎为号。故至高辛之时，再居此职。"这就是说，他们认为，在颛顼时担任重这个官职的，是少昊氏玄嚣的后代句芒，担任黎这个官职的，是帝颛顼高阳氏的孙子祝融。[②]句芒、祝融是自颛顼时开始的第一代重黎，帝喾高辛氏在位时，仍有其子孙承担重黎之官。帝挚在位时衰废，至尧时才复"育"重黎之后，让其复职，并使用羲和的官名。由于有火正黎司地的传统说法，人们又都把祝融说成是火神。有人据五行相胜之说，认为神农氏属南方炎帝，南方属火，则神农与祝融在族别上应是比较接近。有人还把祝融想象成是炎帝的第四代子孙[③]。这也许是依据五行说的一种附会。侯哲安认为，颛顼与黄帝并非同族，不属于黄帝系统，是较早地加入华夏联盟的东



① 见《十三经注疏》卷二。

② 见《山海经·大荒西经》。

③ 见《山海经·海内经》。

南地区的部落。祝融与颛顼是近亲[①]。依据此说，则重黎与羲和可能不是同一家支。

《尚书·尧典》有命羲和授人时，分命羲仲、羲叔、和仲、和叔，观测鸟星、火星、虚星、昴星以定四季的记载。马融、郑康成等人释为天地四时之观天授时六官；西汉今文尚书家则以为四子为羲和，他们分察四星，以授民时。传说之事，很难判断是非，但那时设立世袭的名叫羲和的天文官员，从事天文观测，确定季节以授民时，则应该是确定的史实。而且观测的人员也由一人增为数人，故《尧典》分别以羲仲、羲叔、和仲、和叔之名加以区别。

夏代羲和为世袭制，似乎更为明显。从《尚书·胤征》看，当时羲和的实力似乎相当强大，像是一个部落首领。故当其废时乱日时，需派一个名叫胤的诸侯去征讨他[②]。

三、羲和本义探源

根据以上讨论，羲和为天文官应无疑义。然而，远古时为什么把天文官称之为羲和，也即羲和的本义是什么呢？在讨论之前，请先看一下民族学的资料。

《彝族天文学史·毕摩与天文学》指出，凉山彝族把男女巫师均称为“毕摩”，称氏族部落首领和奴隶主为“西”，男为“西颇”，女为“西摩”。“西”为主人或首领之义。“毕摩”之意是次于主人的人，“摩”字原指女性，现为泛指。在云南哀牢山彝族地区，则称巫师为“西”，男巫为“西颇”，女巫为“西摩”。称大巫师为“朵西”。朵义为大。[③]

这种称呼也见之于汉文记载，《云南通志·黑倮倮》把巫师称为“大溪波”，“精者能知天象，断阴晴。”“大溪波”即上面所说的“朵西颇”。早在元代李京的《云南志略》就有记载，他说，罗罗“有疾不识医药，惟用男巫，号曰大溪婆，以鸡骨占凶吉。酋长左右，斯须不可缺，事无巨细皆决之”。唐代南诏开国君主称作细奴逻。以后，南诏王自称“信”，王后称“信么”。[④]“细”、“信”与“西”音近，“么”与“摩”音近，可见当时的称呼与近代彝族无异。南诏王是从部落首领兼巫师“细颇”演变而来的，故自称“细”或“信”。一般彝族人都把大巫师“朵西”看作是最有学问的人[⑤]。

彝族是古代羌戎的遗裔，大家都崇拜虎。彝族自称罗罗，彝语罗即虎。据《帝

① 《略谈荆楚与祝融》，《贵州民族研究》，1984年第2期。
② 参见郑文光《中国古代天文学源流》第一章“羲和”，科学出版社，1979年。
③ 陈久金，卢央，刘尧汉：《彝族天文学史》，云南人民出版社，1984年。
④ 《新唐书·南蛮传》。
⑤ 参见著名彝族史诗《梅葛》“后记”，云南人民出版社，1980年。



王世纪》说："伏羲生于成纪。"即今甘南天水地区，上古时从来就是羌戎聚居地。又《管子》、《淮南子》等都把伏羲称作"虙戏"。《说文解字》说："虙，虎儿，从虎，必声。""虙戏"二字均从虎，应与虎有关[1]。《礼记·王制》疏引《尔雅》旧注说："六戎中有鼻息。"《风俗通》说："戎类有六，五曰鼻息。"现今白族、土家族自称比齐、比兹、白子。看来伏羲一词应与古羌戎中部落的名号有关。以上所引虙戏、鼻息、比齐、比兹、白子等，应有共同的渊源关系。伏羲又可写作包犠、伏戏、虙犠、宓犠，可见这一名号仅是记音，古时没有统一的写法。

传说中的黄帝，姬姓，其主要活动中心在中国西部，想象中的下都在昆仑之丘。其子孙颛顼、尧、夏禹、犬戎、北狄[2]，也都与古羌戎有关。因此黄帝出自羌戎。《史记·六国年表》称"禹兴于西羌"。王符《潜夫论·五德志》则直称为"戎禹"。因此，在黄帝、颛顼、尧帝、禹夏时代，其文物制度当能反映出古羌戎文化的特征。而称为羲和的天文官，都是出现在古羌戎族占统治地位的时代，可见羲和一词，必与古羌语有关。由此可以推想，羲和之羲，应与伏羲之羲有相同的意义，源出部落首领、主人之义。

既然羲和只是古羌语的音译，则远古有关羲和之义的不解之谜便可得到解释。《国语·楚语》载楚昭王问有关重黎时，观射父答曰，古觋巫"能知上下比义，其圣能光远宣朗，其明能光照之，其聪能听彻之。如是，则神明降之。在男曰觋（音希），在女曰巫"。在当时看来，觋巫是最有学问能通鬼神的圣人。楚昭王问重黎，观射父则答以觋巫之事，可见重黎的工作与觋巫类似。而羲和是继承重黎的，羲又与觋同音，则羲和即类似于秦汉时代的觋巫。古时羲和之称，只不过是专指在君王身边做官的觋巫。他与近代彝族所称的朵西颇也是一个意义。

由于远古帝王十分迷信鬼神，事事求助于鬼神才能行事。而帝王只能通过羲和才能得知鬼神的意志。从近代朵西颇在彝族部落中的地位可以推知，当时羲和在王权中的地位是很显赫的。这正与上古文献所载相符。

四、历史上的羲和及其主要天文工作

《史记·历书》载太史公曰："神农以前尚矣。盖黄帝考定星历，建立五行，起消息，正闰余，于是有天地神祇物类之官，是谓五官。各司其序，不相乱也。"这是太史公司马迁对远古天文学经过系统研究后所做出的总结。五行即水火木金土，消息即阴阳，或者说是死生，实际是指建立起季节循环的周期。

我们的研究结果认为，在中国远古、上古时代，曾经普遍地使用过一年为10个

---

① 参见刘光汉：《道家和道教与彝族虎宇宙观》，《贵州民族研究》，1984年第1期。

② 见《山海经》。又见袁珂：《古神话选释》，人民文学出版社，1982年。

月每月36天的太阳历，这是羌戎文化的特征，《夏小正》则是其代表。按照近代云南小凉山彝族十月历，其月名按木火土金水配公母来排定，分别称之为木公月、木母月、火公月、火母月等。公母即阴阳，表示互相依存又互相转化的事物。由此则司马迁的这段话便可作这样的理解：黄帝时以观测恒星的出没方位来编定历法，建立起以阴阳配五行用以确定季节的纪月制度，并且知道用设置闰日的方法来调整季节。这样排定以后，则各月施行各月的农政，秩序井然，没有丝毫的错乱。因此，所谓阴阳五行，原本只是远古十月太阳历的月名，或者说是不同季节的名称[①]。前人对这段话都以阴阳历来理解，但那时如果用阴阳历，则建五行，起消息，这些概念都与制定历法没有直接的关系，插在“考定星历”、“正闰余”之间，就无法得到合理的解释。

《史记索隐》引《系本》说：“黄帝使羲和占日，常仪占月，臾区占星气，伶伦造律吕，大桡作甲子，隶首作算数，容成综此六术而著《调历》也。”《系本》所引这些人物，历史上也许确有其人，但把这些发明都说成是黄帝那个时代完成的，则毫无科学根据，也不见其他文献记载，因此，我们不必认真对待。

《史记·历书》说，颛顼“乃命南正重司天以属神，命火正黎司地以属民。”这句话的意义各家说法不一。有人说火正即是北正。重管天，黎管地。天为阳，地为阴。而阴阳又可理解为上半年和下半年，则重、黎都是天文官员。但也可理解为重掌管天象观测定季节，黎则是管理民政。中国历来重与天有关，黎与民有关，故有九重天和黎民百姓之称。则重黎到底与羲和是什么关系，或者只是假想中的天文官员，都难作定论。

上古文献记载有关帝尧时的天文事迹较多。尧时羲和的工作，载在《尚书·尧典》，以后各家都因其说。《尧典》说：“乃命羲和，钦若昊天，历象日月星辰，敬授人时。”“分命羲仲”，“日中星鸟，以殷仲春”；“申命羲叔”，“日永星火，以正仲夏”；“分命和仲”，“宵中星虚，以殷仲秋”；“申命和叔”，“日短星昴，以正仲冬”。这就是说，命令羲和按照日月星辰来确定季节。又具体设立羲仲、羲叔、和仲、和叔四官，分别观测鸟星、火星、虚星、昴星，以定仲春、仲夏、仲秋、仲冬。不过尧时是否确实设立四官，分别观测四仲中星，这是个一直存在争议的问题。南北朝隋唐时为岁差事就这条记录讨论得十分热烈，最后以李淳风与僧一行的辩驳而暂告一段落[②]。不过四仲中星并不正好在四仲的矛盾至今尚未得到令人满意的解释。竺可桢指出，若以岁差来考定四仲中星，只有昴星符合尧时的天象，而其余四星不得早于殷末。[③]



① 见《彝族天文学史》有关章节。

② 见《新唐书·历志三》“大衍历议·日度议”；又见本书“虞喜”。

③ 竺可桢：《论以岁差定尚书尧典四仲中星三年代》，《科学》第10卷第12期，1926年。



如果确是如此，则所谓四仲中星，那只是后人的附会。不过，它说明至少在殷末以前，已有用四仲中星定季节的方法。

《左传·昭公元年》说："昔高辛氏有二子，伯曰阏伯，季曰实沈。居于旷林，不相能也，日寻干戈，以相征讨。后帝不臧，迁阏伯于商丘，主辰，商人是因，故辰为商星；迁实沈于大夏，主参，唐人是因，以服事夏商。"这是一个很形象的传说故事。但远古传说故事的可靠性并不一定比其他记载差。阏伯和实沈未必就是帝喾的儿子，但它却告诉我们，唐尧和夏代主要用参星定季节，而商代则用大火星定季节。这种说法很有些道理。黄帝、尧和夏宗室都来源于古羌戎，都崇拜虎，他们把用以定季节的星也当作神一样看待，中国把猎户座定名为虎星，可能就渊源于此，而觜、参、伐等宿则组成白虎星座①。

《公羊传·昭公十七年》说："大火为大辰，伐为大辰，极亦为大辰。"伐即参星，极即指北斗，是我国远古时确定季节的三大标准星。用参星和北斗定季节，同是羌戎民族的文化传统。《夏小正》是夏民族的历书，其中用以定季节最多的标志星，即是北斗和参星，就是最好的证据。

《绎史》卷九引《田俅子》曰："尧为天子，冥荚生于庭，为帝成历。"它告诉我们，在唐尧时代以冥荚的升落纪日。《淮南子·本经训》说："尧之时，十日并出。"尧命羿射九日，天下始安。在《山海经·大荒南经》中也有关于十日的记载："东海之外，甘水之间，有羲和之国。有女子名曰羲和，方浴日于甘渊。羲和者，帝俊之妻，是生十日。"《山海经·大荒西经》又说："帝俊妻常羲，生月十有二，此始浴之。"这里的羲和、常羲便都成为女身，而且都是帝俊之妻。帝俊是何人？他与三皇五帝的传说不属一个系统，而是东方民族所祀奉的远祖。与西方民族把远古的科学成就都归之于黄帝相类似，他们把十日十二月的发明都归之于帝俊。据袁珂的研究，帝俊即帝舜②。帝舜出于东方民族，说舜时创立十有二月，即创立了一年为十二个月的阴阳历，这是有道理的。但发明以十为周期的纪日方法，即天干纪日法，则应归之于帝尧时代。古人以日为阳，以月为阴，故把创立以月为周期的阴阳历的常羲也想象为女身，更附会为帝俊之妻。"十日并出，焦禾稼，杀草木，而民无所食"，那只是编纂神话故事的人的想象。其实，这十日是各有分工的："有大木，九日居下枝，一日居上枝。一日方至，一日方出。"③这正是以十干轮流纪日的形象化。

自唐尧以后，便不断有关于十干记载的出现。例如《尚书·皋陶谟》载禹说："娶于涂山，辛壬癸甲，启呱呱而泣，予弗子。"夏代帝王也有以十干命名的，例如孔



① 参见《彝族天文学史》，第三章第五节。

② 见《古代神话选释》中"帝俊"和"羿与嫦娥"，人民文学出版社，1982年。

③ 《山海经·大荒东经》。

甲、履癸等。商建国以前，祖先所用天干命名的更多，有报丁、报乙、报丙、主壬、主癸、天乙六人之多[①]。可见说十干产生于尧时，是确有道理的。

黄帝、尧、禹等羌戎系统的文化，讲阴阳五行，讲十日、五帝德。与此相对应，东方殷商祖先的传统文化，所用成数却是四和十二。前已述及，作为帝舜化身的帝俊，其妻常仪生十有二月。这是发明一年为十二个月阴阳历的象征。此外，《尚书·舜典》说："舜受终于文祖，在璿玑玉衡，以齐七政。……肇十有二卅，封十有二山。""舜格于文祖，询于四岳，宾四门，明四目。达四聪，咨十有二牧。曰，食哉惟时。"成数是一个时代传统文化的反映，所用成数不同，正反映出二者使用不同的历法制度。

禹夏继承帝尧的制度，以羲和子孙世掌天地四时之官。有关夏代的天文学文献，有《夏小正》和《尚书·胤征》两篇。《夏小正》用以定季节的天象物候，远较前代详细，这是夏代天文学取得重要进展的一个标志。有关夏代天文学之事，在前面已有论及；《夏小正》是十月历，在《彝族天文学史》中已有系统讨论。

夏启继位，有扈氏不服，启伐之而作《甘誓》。加其罪名"威侮五行怠启三正"。太康失国，发生政治危机。仲康复国，为巩固统治，征羲和而作《胤征》。加其罪名为"羲和湎淫，废时乱日"。《胤征》说："乃季秋月朔，辰弗集于房。瞽奏鼓，啬夫驰，庶人走。羲和尸厥官，罔闻知，昏迷于天象，以干先王之诛。"有人据此附会为因预报日食不准而受诛。且不说《胤征》并无有关日食的记载，即使有明确记载，也不可靠。况且据"季秋月朔，辰弗集于房"，与《礼记·月令》"季秋日在房"，所载相同。但夏初与周末相距一千余年，季秋星象不可能相同，因此《胤征》必为伪作。我们通过这条记载，可知夏时确有羲和之官，并且负责测定季节，记载时日。



仲康征羲和之后，其子弟消亡，不再设羲和之官。

（撰稿人：陈久金）

第二节 石申夫

石申夫（一作石申）是先秦时代最著名的天文学家，他不但编制了世界上最古老的石氏星表，而且在四分历、岁星纪年、对五星运动的研究、天象观测和中国古代星占理论等方面，都有杰出的贡献。他对于中国古代天文学，从天文知识的积累和定性研究，进入系统的定量的科学探讨，起了决定性的作用。因此，在中国天文学

① 见《史记·夏本纪》、《史记·殷本纪》。



的发展史上，他作出了划时代的贡献。若将石申夫的成就与古希腊方位天文学的创始人喜帕恰斯（Hipparchos，约前190—前125）相比，那是毫不逊色的。而且在时代上来说，石申夫要比喜帕恰斯早200年。因此，对石申夫天文工作及其成就的研究，有着重要的意义。

以往，对石申夫的研究，大都偏重于石氏星表，其他很少涉及。以下将试图对石申夫天文工作的各个主要方面，做一较系统的探讨。

一、石申夫活动年代的考定

《史记·天官书》说："昔之传天数者……周室史佚，苌弘；于宋，子韦；郑则裨灶；在齐，甘公；楚，唐昧；赵，尹皋；魏，石申夫。"于此，司马迁交待清楚了石申夫的国别和大致的活动年代。

《史记·天官书》接着又说："田氏篡齐，三家分晋，并为战国。争于攻取，兵革更起，城邑数屠，因以饥谨疾疫焦苦，臣主共忧患，其察禨祥候星气尤急。近世十二诸侯七国相王，言从衡者继踵，而皋、唐、甘、石因时务论其书传，故其占验凌杂米盐。"明确地交待了石氏等星占产生的时代背景，并再次肯定了石申夫是战国时的天文学家。其后如《续汉书·天文志》等说法也都相同。因此，石申夫无疑是战国时魏国人。

有关石申夫的名字，首先出现于《史记·天官书》，以后《汉书·艺文志》和《续汉书·天文志》也都写为石申夫。不过，在南北朝时却起了变化，刘宋裴松之在《三国志·管辂传注》中引《辂别传叙》称之为石申。梁代阮孝绪《七录》也称之为石申。其后人们才习惯地称之为石申。对此，已故钱宝琮先生曾做过研究，认为石申之名，来源于《史记·天官书》中"魏石申夫天运三十岁一小变"的句读之误。[①] 本节暂从钱说。刘昭《续汉书·天文志》注作石申父和《唐书·经籍志》作石申甫，当是同一人名的异写。

有关石申夫的著作，据《史记·天官书》张守节《正义》引《七录》说："石申魏人，战国时作《天文）八卷。"《隋书·经籍志》载石氏作《浑天图》一卷，《石氏星经簿赞》一卷，石氏《天文占》八卷（即《七录》所说《天文》八卷）。关于这三部书我们将在下面做专门的讨论。

在《开元占经》所引资料中，就包括《石氏星经簿赞》和"石氏曰"两种，此"石氏曰"大概就是指《天文》八卷中的内容。《史记·天官书》的《索隐》也引有"石氏云"的资料。《续汉书·律历志》引贾逵论历中有《石氏星经》的书名，可见早在东汉中

① 钱宝琮：《甘石星经源流考》，浙江大学季刊，1937年，第1期。又见中国科学院自然科学史所编《钱宝琮科学史论文选集》，科学出版社，1983年。

期就确有其书。

魏国从文侯建国(前445)到魏王假三年(前225)为秦所灭,共经历220年。究竟石申夫生活在魏国的哪个时期呢?

《汉书艺文志拾补》曾依据东汉应劭《汉官仪》有:"汉兴,甘、石、唐都,司马父子抑亦次焉",并依据《史记·张耳陈馀列传》关于甘公劝张耳归汉的记载,把诸说牵合在一起,认为"甘石皆生在战国,至汉初犹存。"

这种结论显然是不能成立的。司马迁本人就是西汉中期的天文学家,又是畴人世家,他对于西汉前期的重要天文学家应是熟悉的,不可能把西汉时的天文学家硬提前到战国去。按照《史记》的记载,甘、石在战国时就已经很有成就,并且是得到国君重用的天文学家,则他们在战国时就不可能太年轻,很难令人相信在跨越秦代以后,又再次在汉代积极从事天文活动。至于《史记·张耳陈馀列传》中所载的甘公,并无根据说他就是甘德。《开元占经·五星占》注引《洪范天文星辰变占》说:"客有齐人甘文卿者,善天文,言五星从岁星聚于东井。今汉王入秦,此受命之符也。后五年,高帝遂定天下。"由此可知,《张耳陈馀列传》中的甘公,并非甘德,而是名叫甘文卿的人。至于《汉官仪》所载"甘、石",也未说就是甘德、石申夫。当然这里的甘、石并提应与甘德、石申夫有一定关系。在古代,具有一技之长的人们,其技大都是世代相传的,司马父子就是一例,桓谭《新论》所载工匠落下闳制作浑天仪的技术和知识父子相传,又是一例。因此,我们认为,应劭所说汉代的甘、石可能实有其人,但并不是甘德、石申夫,而是他们的后代。他们的天文知识世代相传,并且不断地改进和完善其著作和理论,因此,有人把他们分别称之为甘氏学派和石氏学派。①



石申夫、甘德准确的生活年代,因无明文记载,前人众说纷云,从战国起至西汉初期,有200年的出入。为把甘、石生活的年代确定得更精确一些,现做出如下探讨。

1.岁星纪年法考定其创制年代

岁星纪年的资料不但能够考定它产生的年代,而且相当精密。据《汉书·天文志》记载,石氏岁星法"太岁在寅曰摄提格。岁星正月晨出东方,石氏曰名监德,在斗、牵牛。"只要推知某年正月岁星确是在斗、牵牛,而且该年又确是属于战国岁星纪年中的岁名,那么它就应是制定这种岁星纪年法的年代。据《吕氏春秋》、《离骚》、《左传》和《国语》等有关记载,可以推知公元前365年,以及与此相应的年份,例如公元前377年和公元前353年等,都为摄提格之岁,也即太阴为寅年。

岁星纪年是假定木星12年整绕行黄道一周的。如果木星的恒星周期恰好是

---

① 见天文学史整研小组编:《中国天文学史》,科学出版社,1981年,第50页。



12年，这种纪年法应与木星实际运行完全相应，也就不存在误差。但事实是，木星的实际周期为11.86年，每83年就要相差一个星次，这种差误正好为我们探求确实的年代提供了依据。

所谓"摄提格之岁，岁星正月在斗、牵牛；单阏之岁，岁星在婺女、虚危"，等等，都是依据当时的实际观测制定的。特别是甘氏岁星法交待得更清楚，每年下面都写明"晨出夕入"。其实际意义是，由于正月太阳在斗、牵牛，从月初至月末太阳行经30度，通过斗、牵牛两宿，但木星一个月运行不到3度。因此，"晨出夕入"的实际意义是：月初时岁星昏见西方，月末时木星晨见东方。也即是说，在摄提格之岁的正月，岁星与太阳处于相同的位置。但由于岁星超辰，经过几个木星周期以后，便不再与日晨出夕入。利用这种关系，便可判断摄提格之岁正月木星与日相合的准确年代，其误差一般不会超过半个星次。也就是说，由此方法判定的石氏岁星纪年法制定年代的误差，大致应在40年的范围之内。它比人们通常所使用的利用岁差原理确定年代的方法更为精密。因而这实际是一种行之有效的方法。

历史上任何一天的木星行度，是可以很方便地求得的，也有现成的工具书可以查阅[①]。以往我们曾经指出过岁星纪年起源于公元前380年到公元前360年之间[②]，石申夫的天文活动年代，也应与此时代相一致，大致在公元前4世纪中期。

2. 石申夫历法用周正

从石氏岁星纪年中的岁星"正月与斗、牵牛晨出东方"的记载可以看出，石氏历法的正月日在斗、牵牛。而根据战国和汉代的文献记载，冬至日在牵牛。这表明石氏历法的正月正是当时冬至所在的月份。因此，石氏历法即是人们通常所说的周正。

太初历用的是夏正，与周正相差两个月，因此它的正月日所在决不会在斗、牵牛。关于这一点，从太初历的岁星纪年方法也可得到证实：《汉书·天文志》说，"太岁在寅曰摄提格，岁星正月晨出东方，石氏在斗、牵牛"，"太初历在营室、东壁"。这就是说，太初历正月日在营室、东壁，这正是夏正的特征。

东周以后的周王朝，是肯定使用周正的。春秋时代，由于周王朝仍有一定的力量，也有相当的号召力，故中原列国大都尊用周天子的正朔。其主要标志就是实行周天子所颁布的岁首。因此，各国都行用周正。至战国中期时，大多数国家仍然使用周正。当然，我们所说战国中期以前大都使用周正，并不是仍需接受周天子所颁布的正朔，而仅仅是各国仍以冬至之月为岁首，此时各国当各有自己的历法。我们



---

① 见《从－2500年到2000年太阳和五星经度表》。

② 见《从马王堆帛书〈五星占〉的出土试探我国古代的岁星纪年问题》，《中国天文学史文集》，科学出版社，1978年。

所说战国中期以前各国仍以周正的根据有如下几条：

①在古六历中，黄帝、周、鲁等历都是周正，而颛顼历、殷历和夏历都是战国晚期以后的历法，有的甚至是汉人的作品[①]。

②依据战国时的岁星纪年，甘氏、石氏纪年法都是岁星正月与“斗、牵牛”或“建星、婺女”晨出东方，这就是说，甘氏和石氏的历法全是周正。另据《春秋纬》所载岁星纪年法，“太阴在亥，岁星居角亢”，“太阴在寅，岁星居斗、牵牛”。亥字开头，表示已改用亥月（夏历十月）为政治岁首；寅岁，即摄提格之岁，正月岁星居斗、牵牛，其特征与石氏法一致，也用周正。这就是说，实际使用的仍是以冬至之月为正月。它明显地是秦始皇当政以前所实行的历法。这说明在秦始皇以前的秦国也用周正。

③《孟子》说：“七、八月之间，旱则苗槁矣。天油然作云，沛然下雨，则苗浡然兴之矣。”孟子生活在公元前 330 年前后，他所用历法的七、八月，显然是盛夏季节，由此可见，他所使用的是周正。

④魏国在晚期可能确实行用过夏正，但并不是如某些人所认为的魏国自建国以来就用夏正，甚至认为晋国也用夏正。这些推论都是建立在《左传》月日资料之上的。认为《左传》杂采众说，而它所载晋国月日与《春秋》差两个月，这便是晋用夏正说的来历。然而《左传》所载月日是不是史实，前人早已提出过怀疑。因此，晋国使用夏正的说法是靠不住的。我们认为，魏国中期以前是使用周正的。证据有二：一是魏国人石申夫的岁星纪年法用的是周正，由此推之，魏国在公元前 4 世纪中期的历法肯定用的是周正；二是据魏国《竹书纪年》，有景王十九年（前 524）“冬十二月桃杏华”和“赧王六年（前 309）十月大霖雨，疾风，河水溢，酸枣郛。”初冬有小阳春之称，反常时桃杏能二次开花。这里的十二月当是夏历的十月；夏历八月前后时有霖雨，这在古代文献中常有记载，此处“十月大霖雨”当是夏历的八月，这两条记载可证公元前 4 世纪以前魏国和晋国用的是周正。

由此看来，在公元前 4 世纪以前各国曾普遍地使用周正，被人们称之为传统使用夏正的魏、晋和秦等国也不例外，只是在六国称王以后，或者在秦齐称帝以后，各国才逐渐普遍地改用夏正。

战国后期各国竞相由周正改用夏正，主要是出自政治的考虑。在战国时代，有一种五行相胜、三正循环的理论。五行相胜为：金胜木，火胜金，水胜火，土胜水，木胜土。这种理论认为夏为木德，商为金德，周为火德，现周德已衰，必以水德取代，故秦国自认为得水德，北方为水，所以以亥为正。然而，更易为人们所普遍接受的是三正循环的理论。《史记・历书》说：“夏正以正月，殷正以十二月，周正以十一

① 参见新城新藏：《东洋天文学史研究》第八编，中华学艺出版社，1933 年。又见陈久金，陈美东：《从元光历谱及马王堆帛书〈五星占〉的出土再探颛顼历问题》，科学出版社，1978 年。



月，盖三王之正，若循环，穷则反本。”按照这种理论，夏用夏正，殷用殷正，周用周正，已完成了一个循环。现在周德已衰，必然要回到夏正。这就是战国后期各国竞相改用夏正的思想基础，都想代周而取得正统的地位。

由于石申夫的岁星纪年尚用周正，由这点也可证实石申夫生活在战国中期以前。用以上两种方法所推得的石申夫生活的年代，是大体一致的。即石申夫大致生活在邹衍（约前 340—前 305）创立五行相胜说之前。

二、石申夫的恒星观测

关于石申夫恒星工作的研究，前人做了不少工作，也取得了相当的成绩，解决了不少问题。因此，本节对于这个方面，只准备简略地讨论一下。

石氏星表在世界天文学史上的重要地位是人所共知的，它无疑地可以与西方最早的星表托勒密星表（2 世纪）媲美，而且毫不逊色，在时代上说，却要比后者早几百年。

《开元占经》所引石氏中官六十二（紫微垣已包括在内），外官三十，加上二十八宿，共计约为 120 座。在《开元占经》中，给出有《石氏星表》中的约 120 颗恒星的入宿度。

石氏星表中所给出的 120 颗恒星的坐标，究竟是不是石申夫当时所测的结果？对于这个问题，上田穰早在 20 世纪 30 年代就曾做过较为系统的研究。他认为，随着时代的改变，这些恒星去极度的变化是较为显著的，因而可以利用它们的去极度来决定它们的观测年代。所得到的结论是，其中有一部分恒星，确是公元前 300 年前后观测的，另一部分则是公元前 150 年和公元 200 年左右的观测结果[①]。而薮内清通过计算，认为可能完成于公元前 70 年左右[②]。席泽宗也发表过类似的意见[③]。最新的研究可以参见潘鼐的工作[④]。



我们认为，石氏星表中二十八宿各距星之间的距度，很可能是石申夫本人测定。以往曾有一些人主张二十八宿的距度是汉太初元年时才开始测定的，在太初以前无二十八宿距度的数值，《淮南子·天文训》中星分度的数值是太初以后人们补进去的。[⑤] 这是没有根据的胡乱猜测。长沙马王堆出土的帛书《五星占》中，载有各个行星的行度，为了将这种行度在天球上表示出来，就必须要有一个表示的尺

① 《石氏星经研究》，《东洋文库论丛》，1930 年。

② 《中国四天文历法》第一部第二节，平凡社，1969 年。

③ 《僧一行观测恒星位置的工作》，《天文学报》，1956 年，第 4 卷第 2 期。

④ 《我国早期的二十八宿观测及其时代考》，《中华文史论丛》，1979 年第三辑。

⑤ 新城新藏：《东洋天文学史研究·战国秦汉之历法》。

度。因此，在汉初以前甚至战国时代，存在一种表示天体方位的尺度，也即二十八宿距星的距度，那是很必然的。再说在汉以前，存在着一种与太初星分度完全不同的所谓"古度"，载于刘向《洪范传》。所谓古度，那肯定比太初星分度要早。而阜阳出土的汉初汝阴侯夏侯婴的儿子夏侯灶墓中的圆盘，载有与古度相当的二十八宿星分度，从而证实了太初以前没有星分度的论判是不成立的。秦朝大致沿用统一前就已颁行的历法，汉初沿用不改，其历元就设在立春，日在营室5度。因此所谓古度及《淮南子》所载二十八宿分度，应是战国时早已存在的分度。从而说石氏二十八宿分度为石申夫所测，也就没有什么可以怀疑了（见图1—2）。



图1—2　湖北随县出土春秋晚期箱盖上的二十八宿名称

石氏二十八宿去极度的数据可能出自西汉，因为确实尚未发现战国时有去极度的概念[①]。上田穰所使用的岁差计算方法，在理论上是能够成立的，但实际是否

① 薄树人：《中国古代的恒星观测》，《科学史集刊》，1960年第3期。



如此，却令人怀疑。因为可以想见，战国时的测角仪器是很粗略的，能否测定去极度尚属可疑。即使能够测定，也很不准确。有迹象表明，石氏去极度是以当时的北极星为标志点进行测量的，只要北极星不正好在北极，就将产生系统的偏差。所谓两个时代观测结果的证据，也许正是这样产生的。潘鼐先生指出，鬼、张、翼、角、亢、氐、房、心、尾、箕、斗十一宿为一组，牛、女、虚、危、室、壁、奎、娄、胃、昴、毕、井十二宿为一组，各自偏在同一边。两个时代观测结果的说法也许是不成立的。

至于石氏中外官的星分度，可以基本肯定不是石申夫所测，因为《开元占经》中所载的这些数据，并非直接载在“石氏曰”下，而是一种小注。在这些小注中，有的甚至还引有汉以后的书名。例如，《石氏中官》引：“石氏曰贯索九星”，小注说：“《天官书》曰勾圆……入尾半度，去极五十九度少，在黄道内三十七度。”由此看来，薮内清的结论可能是较为接近事实的。

石氏的恒星知识主要载在《石氏星经》中，它包括二十八宿和中外官。二十八宿是属于坐标星，自然观测得十分仔细。对于中外星官，石氏的知识也很丰富，其星表中所涉及的主要内容是星座的方位、星数，以及它们与人事政治方面的关系。前已述及，《石氏星经簿赞》与《石氏星经》的关系尚不清楚，据《开元占经》所引大量的《星赞》内容来看，都是属于占星术方面的，例如说某星是主管人间什么事的，它亮度增加后对人们有如何影响，暗了或不见了又如何如何，等等。它有可能是后人依据石氏星经的内容重新加以编撰并做了发挥的东西。

由此看来，所谓《石氏星经》，首先是由石申夫本人创立，后又经其门徒不断完善和补充，大约定稿于西汉后期。它是石氏学派集体智慧的结晶。

三、石申夫对行星运动的研究



石申夫在五星运动的研究上，曾经取得划时代的贡献。关于这一点，中国古代的天文学家大都是肯定的。但石申夫对五星运动究竟有何具体贡献，各家的认识并不那么清楚和一致。

《史记·天官书》说：“故甘、石历五星法，惟独荧惑有反逆行。”这是说明甘、石的历法在推算火星的运动时，是正式列入有逆行阶段的。司马迁通过对百余年来有关行星运动资料的考察，进一步证实了“五星无出而不反逆行”，从而肯定了甘、石发现行星运动有逆行的功绩。

然而，《汉书·天文志》却说：“古历五星之推，亡逆行者，至甘氏、石氏《经》，以荧惑、太白为有逆行。……皆非正行。”马续虽然比司马迁晚出约200余年，仍然不相信逆行是行星视运动的一种规律。尽管如此，马续却指出了在甘、石以前的历法中也有推算五星运动的方法，而这种方法是不考虑行星有逆行的。如果那时确有

这种推算方法，尤其是对内行星来说，那是十分粗略的。因此，经过甘德、石申夫等人的勤奋观测，才总结出行星有逆行的运动规律。

在《开元占经·太白占》中，载有"石氏曰"的金星行度：

> 太白出东方，高三舍，命曰明星，柔；上又三舍，命曰太嚣，刚。其出东方也，行星九舍为百二十三日而反，反又百二十日，行星九舍而入。入又伏行百二十三日，行星十二舍而昏出西方也。太白出西方高三舍，命曰太白，柔；上又三舍，命曰太嚣，刚。其出西方也，行星九舍，为百二十三日而反。反又百二十日，行星九舍而入。入又伏行百二十三日，行星十二舍而晨出东方也。

以往人们常引用《汉书·天文志》的记载，阐述行星至甘、石时始有逆行之说。《开元占经》这段引文却很少为人注意和研究。其实这段引文对于研究战国时的行星知识水平，了解石申夫所认识的金星运动动态的本来面目，是有很重要的价值的。

首先必须讨论一下，这段引文是否确是石申夫的著作，可以比较的文献有《史记·天官书》、《汉书·律历志》的金星行度，及20世纪70年代长沙马王堆出土《五星占》(前170)的金星行度①。现将这些文献的资料列于表1—1。

表1—1　文献所载金星各个运动阶段的日数

书　名	晨出	晨伏	夕出	夕伏	会合周期
《开元占经》石氏曰	243	123	243	123	732
帛书《五星占》	224	120	224	16	584
《史记·天官书》	240	131	240	16	628
《史记·天文志》	244	83	241	16	584
《续汉书·天文志》	246	82	246	10	584

从表中的数值对比可以看出，三统历和东汉四分历的金星动态较为一致，而且已经很接近真实的状态了。帛书《五星占》实即是颛顼历的金星动态。它反映出汉初的天文学水平。它的周期已经接近于真值，但出没动态则还有相当大的误差。《史记·天官书》金星动态的误差不比帛书《五星占》小，而且会合周期也有相当大的误差。由此看来，《史记·天官书》虽然编写的年代较晚，但所用资料却是先秦的。至于石氏金星动态，其晨出、夕出、晨伏的日期误差与《五星占》和《史记》不相上下，但夕伏的日期却与晨伏相同，因而会合周期的误差也最大。其所载夕伏的日

① 见《马王堆汉墓帛书〈五星占〉释文》，《中国天文学史文集》，第一集，科学出版社，1978年。



期实际是由晨伏推定，并非观测结果。因此可以这样推断，石氏金星动态的资料，是至今所能见到的最古老的观测结果，它尚未受到其他各家学说的影响，因而也许它确是战国时代石申夫的记录。

石氏金星运行动态中无疾行、迟行、留、逆行等名称，但却有“柔”、“刚”、“反”、“伏”等动态名称，更载有位于不同状态时金星的特殊星名。如金星晨出东方三舍以下称作“明星”，三舍以上名为“太嚣”，夕出西方三舍以下称作“太白”，三舍以上名为“太嚣”。它为我们提供了中国早期天文学家所认识的金星动态的特殊信息。

《开元占经》未载有明确的石氏火星运行动态。按推理，是应该有的，可能早已散失。在帛书《五星占》中，引人注意地缺少火星的动态；在《史记・天官书》中，虽然想交待一下火星的动态，但也未留下一个完整的概念。石申夫所认识的火星出没动态如何，现尚不清楚。《史记・天官书》和《汉书・天文志》都明载甘、石荧惑有逆行，但石氏星经却不见记载，而且西汉中期以前的文献，包括帛书《五星占》在内，也都缺少这方面的内容，这是很耐人寻味的事情。

由于石申夫在星占活动中做了大量的实际观测，他发现月亮和行星运动的速度都有变化，也观测到月亮和行星的运动方位也经常偏离黄道。尽管还没有找出它们产生这些变化及偏离的科学规律，但这些新的发现，对于促使后人去探索它们的运动规律，无疑是有着重要的启发和促进作用的。

四、石申夫的观测仪器及浑天思想

据《春秋・文耀钩》说：“羲、和立浑仪。”三国时著名的浑天家王蕃也曾说过：“浑天仪者，羲、和之旧器，积代相传，谓之玑衡。”[①]晋刘智则说：“颛顼造浑仪。”[②]他们把浑仪的发明上推得那么久远，而且全无根据，是很难令人相信的。然而，王蕃又说：“浑天遭秦之乱，师徒丧绝，而失其文，惟浑天尚在候台。”指出了战国时的浑天理论已经失传了，但其制作的“浑天”仪器，则至汉代时仍然存在。落下闳所造的浑仪，就有可能是参考先秦浑天仪制作的。王蕃关于汉存先秦浑天仪的说法，应该是有所依据的。



关于先秦是否使用过天文测角仪器，以往曾有人专门做过论证[③]。战国时代已出现有二十八宿距度的测量数据，在战国以前，应是有天文测角仪器的。由于流传下来的先秦天文测量数据大都与石申夫有关，因而石申夫制造和使用过这种测角仪器，应是自然的推理。

---

① 见《隋书・天文志》引文。
② 见《宋书・天文志》引文。
③ 徐振韬：《从帛书〈五星占〉看先秦浑仪的创制》，《中国天文学史文集》，科学出版社，1978年。

石申夫使用的测角仪器的结构如何？由于没有文献记载，谁也说不清楚。《周髀算经》中曾经记载过一种测定天体入宿度的方法，在地平面上画一直径为121.75尺的大圆，圆周长差不多正好等于365.25尺，则弧长1尺相当于1度。通过圆心的南北线即是子午线。在圆心设一定标，在大圆上设一游标，可以根据需要在大圆上移动，两标和星三者成一直线时，二标的连线，即表示该星的方位。当被测天体适逢子午面时，只需测定它与西面距离最近的二十八宿距星的夹角，便求得该天体的入宿度。这种方法，大约在战国以前确实行用过。使用这种方法所测定的天体之间的夹角，实际就是地平经度差。但由于它仅限于子午面附近狭小范围内观测，也就近似地当作经度差使用了。不过其误差肯定比较大。这种观测理论显然是建立在盖天说的基础之上的。

石申夫的数值是否也是这样测定的呢？如果仅从二十八宿距度的数值来看，是能够用这个方法测定的。但石氏星表中去极度如果是先秦的观测值，那是无法用此法测得的。由此就不得不使我们推想到浑仪。

浑仪制作于何时？据扬雄《法言·重黎》说："或问浑天，曰：落下闳营之，鲜于妄人度之，耿中丞象之。"《史记·索隐》引《益部耆旧传》也说落下闳"于地中转浑天"。由此看来，落下闳确实是营造过浑仪并用它测定过天体方位的。但并未说这是落下闳的发明。

什么叫"浑天"呢？据刘徽《九章算术》注引张衡的话说："立圆为浑。"天不是圆盖而是立圆，也即天是呈球状的，天包地外。浑仪即是运用这种概念将圆环竖立起来测定天体方位的。

我们认为，浑仪是从《周髀算经》所介绍的方法发展起来的。平面测量的方法显然不太准确，而且有很大的局限性，当人们弄清了赤经与地平经度的区别以后，就会懂得只有沿赤道面测量天体的入宿度，才能得到准确的结果。1977年阜阳出土的汉初夏侯灶墓中刻有二十八宿距度的圆盘，就是产生浑仪以前的一种过渡形态。它可能是一种用于测定天体角距的仪器。用它可以方便地测定位于任何方位的两个天体的赤道角距。在先秦，人们为了研究天体的运动，所要关心的主要是天体在黄道或赤道方向上的运动，因此，使用这种仪器是当时行之有效的方法。当然，在必要时，若将圆盘放到子午面上，也能用于测定天体的去极度。人们只要将这种圆盘稍作改进，将它立在赤道面上，能自由地绕着极轴旋转，一种原始的浑仪也就产生了。然后再进一步设立固定的赤道环和子午环，用可以绕两极自由旋转的四游仪和望筒（或游标），便可方便地进行天体坐标的观测了。

据《隋书·经籍志》记载，石氏作《浑天图》一卷。由于在南北朝以前的文献中未见记载，石申夫究竟是否作过《浑天图》？人们不得不持慎重的态度。但如果在





先秦时代确实已有了浑仪，则关于石申夫曾作《浑天图》的记载，也就有存在的可能了。

五、石申夫的历法

石申夫是制定过历法的，这从文献记载中可以看得出来。

《史记·天官书》说："故甘、石历五星法，惟独荧惑有反逆行。"此处明确提到"甘、石历"的五星法。按中国古代历法的传统，五星的推算方法都是属于历法的范围。石氏的五星法已经流传于世，此处又明确提到甘、石历，由此可证石申夫曾制定过历法。

《汉书·天文志》说："古历五星之推，亡逆行者。至甘氏、石氏《经》，以荧惑、太白为有逆行。夫历者，正行也。……荧惑主内乱，太白主兵，月主刑。自周室衰，内臣犹不治，四夷犹不服，兵革犹不寝，刑罚犹不错，故二星与月为之失度……甘氏见其常然，因以为纪，皆非正行也。……谓之小变，可也；谓之正行，非也。"马续认为，历法是按行星的正常运动来推算的，而行星的正常运动是不应有逆行的，他批评甘、石不该以他在那个社会动乱时代观测到的行星反常运动载入历法，而作为正常的规律来推算。马续所批评的正是石申夫的进步之处。由此也说明石申夫确有历法。此"石氏《经》"，就是古历五星法之一种。

《汉书·天文志》载石、甘、太初历三家岁星纪年法说："太岁在寅曰摄提格。岁星正月晨出东方，石氏曰名监德，在斗、牵牛……甘氏在建星、婺女。太初历在营室、东壁。……甘氏、太初历所以不同者，以星赢缩在前，各录后所见也。其四星亦略如此。"此处将甘、石法与太初历等同，可见石氏制有历法。

由此看来，石申夫历法的概貌已经较为清楚，其特点大致有以下几个方面：

(1)其民用历法的月日推算法，按照先秦历法的常规，使用四分法，即使用每年 $365\frac{1}{4}$ 日，每月 $29\frac{499}{940}$ 日，19 年 7 闰，76 年季节一循环，其基本数据和格局与《史记·历书》所载大致类似，因此，各种文献都略而不载；

(2)使用干支纪日法循环纪日；

(3)使用石氏岁星纪年法循环纪年(此法为司马迁引载在《史记·天官书》)，并依据此岁星运行 12 年的周期，预报各年的农业丰歉、水旱及国家治乱状况；

(4)有五星出没动态及运行方位的推算方法，此法被引载在《开元占经》；

(5)使用周正，以冬至之月为岁首。

六、石申夫在天文学上的新发现

由于石申夫及其门徒勤于观测，便得到一系列的新发现，这些发现大都被当作



星占的内容引载在《开元占经》中，其发现有如下几个方面：

(1)黄赤交角数据的最早测定者。《续汉书·律历志》引载《石氏星经》说："黄道规牵牛初值斗二十度，去极百一十五度。"将它减去一象限 $91\frac{5}{16}$度，便得石氏所测黄赤交角值为 $23\frac{11}{16}$度。相当于今度 $23°21'$，与理论推算值 $23°44'$相比，仅有 $23'$的误差。

(2)测制了最早的星表，并给出最早的赤纬数值——去极度，第一次建立起完整的坐标概念。

(3)发现行星有逆行。

(4)首先观测到太阳日珥。《开元占经》引石氏曰："日两旁有气短小，中赤外青，名为珥。"在石氏的著作中已有详细描述日珥的形状及颜色变化。

(5)首次发现日冕。《开元占经》引石氏曰：有气青赤立在日上，名为"冠"，"法当在日上"。古代"冠"、"冕"通用。石申夫已观测到日冕是太阳边缘的云气状物质。

(6)太阳黑子记录。《开元占经》载石氏观测到"日中有立人之像"。这是中国最早的黑子记录，不过未载年月日，因此，人们公认的黑子记录为《汉书·五行志》所载的河平元年三月乙未。

(7)发现月亮运动有迟疾的变化及轨道有偏离黄道的运动。《开元占经》引石氏曰："大臣用事……月行乍南乍北；女主外戚擅权，则或进退朓朒。月行疾，则君刑缓；行迟，则君刑急。"石氏的发现，为后世进一步测定黄白交角和月亮的迟速运动打下了基础。



(8)最早的彗星分类。《开元占经》引石氏曰："凡彗星有四名：一名索，二名拂星，三名扫星，四名彗星，其形状不同。"

七、石申夫星占及其在中国天文发展史上的意义

《石氏星经》是中国最早的一部星占书，它在中国星占学方面一直享有盛名。例如，《开元占经》所引各家星占内容时，不但常将石氏、甘氏的星占排在首位，而且从内容来说，其分量也占各家的首位。当然，这并不是说，在石申夫之前就没有一点占星术的思想。像东周天文家苌弘等，就有利用天文占卜人事的思想，只是他们的理论尚未系统化，也未有专门的星占著作。

石氏星占的内容十分齐全，包括有天占、地占、日占、月占、五星占、恒星占、流星占、杂星占、客星占、妖星占、彗星占等。其中日占又包括日珥占、日冕占、日食占等，五星占又包括岁星占、荧惑占、填星占、太白占、辰星占，恒星占又包括二十八宿



占、中外星官占等。内容十分繁杂,因而天文知识也十分丰富。这些星占条文的取得,一部分可能确是当时实际观测到的结果。例如,石氏岁星占说,单阏岁,“其岁大水”。可能某单阏之岁确是大水,但由此便被当作一种固定的规律。另一部分则是依据阴阳五行理论的一种附会。

战国时代,各国间战争频繁,斗争激烈,统治阶级内部争夺很厉害。他们都迫切希望能预卜先知,指导自己的行动,以便立于不败之地。星占学就是基于这种历史环境下而日趋发达的。各个著名的星占家大都是国王的高级参谋,凡属重要的政治军事活动,都要事先听取他们的意见。而这些星占家为了更能取得帝王们的信任,都在努力观测和研究星象,将天文和政治联系起来,并将这种牵强附会的关系记载下来,便成为各家星占的内容。对于同一种天文观象,各个星占学派所得结论可以完全不一样,有的用它来预言战争的胜负,有的则用它来预言年成的丰歉。因此,从各家星占的互相矛盾的预言对比中,可以清楚地看出,就星占本身来说,那是毫无科学价值的。

前已述及,不应把《石氏星经》看作石申夫个人的著作,而应把它看作是整个石氏学派星占理论的结晶,这一学派至少要延续到西汉前期。

就星占学本身来说,它是一门伪科学。因此,它在历史上曾起过一定的消极作用。然而由于星占的需要,促使星占家勤奋地观测,终于做出了许多重要的发现,也促进了天文理论的发展。前面所述石申夫在天文学上做出许多新的发现就很能说明问题。因此,古代的占星术,从客观上来说,起了促进天文学发展的作用。关于这一点,几乎有着普遍意义。古代天文学的研究,往往大都具有官方性质,是在官方的提倡和扶持下发展起来的。而统治者最关心的就是利用星占来巩固他们的统治地位。因此,古代星占活动盛行,天文学也由此得以发展。此中石氏星占所起的作用和价值是应该给予肯定的。



(撰稿人:陈久金)

第三节 甘 德

一、生活年代及著作

《史记·天官书》说:“昔之传天数者……周室史佚、苌弘;于宋,子韦;郑则裨灶;在齐,甘公;楚,唐昧;赵,尹皋;魏,石申夫。”在这里,司马迁把战国时各国的天文学家都记载了下来。这是关于天文学家甘德的最早记载。司马迁父

子是西汉中期掌管天文历算的太史令，有机会遍览汉初及先秦文献。因此，司马迁关于甘德是战国时齐国的天文学家的记载，应是较为可靠的。《集解》引晋徐广说："或曰甘公名德也，本是鲁人。"徐广给司马迁的记载做了补充，说明他本是鲁国人。战国时，学者到别国去做官的为数不少。甘德可能也是这样。有人把这理解成甘德是齐人和鲁人的两种不同说法，这是不妥当的。不过，《正义》又引《七录》云甘德是"楚人"，似与徐广所说矛盾。但战国后期鲁为楚所灭(前256)，鲁地也就成为楚国的领土，故有此说。是否果是如此，也难作定论。

钱宝琮曾经指出，自甘德、石申夫创立甘、石学派以后，两汉之际仍在不断发展，其继承者又将新的成就充作甘、石学说，故不同时代流传的甘、石著作内容有所不同[①]。

《开元占经·岁星占》引甘氏岁星法说：摄提格之岁，岁星"以正月与建、斗、牵牛、婺女晨出于东方"。根据本书"石申夫"一节中所指出的原因，它的历法必然是周正。周正使用的年代一般不会迟于公元前4世纪，但又据岁星纪年法的讨论，它又不可能早于公元前4世纪，因此，甘德的活动年代，只可能在公元前4世纪中期。

《古今伪书考补正》引吴汝纶《廿八宿甘石不同考》说："甘公齐人，实先于石氏，其说也最古。"又说："石氏较甘氏稍逊，然亦非后世言天文者所及。"

石氏比甘氏稍逊的说法是片面的。在石氏的著作中有恒星的入宿度和去极度，而甘氏的著作中则未见有这种数值；石氏作有《浑天图》，是先秦浑天思想的代表人物，甘氏则未见有此记载。较为合理的说法应该是：甘德与石申夫是同一时代的著名天文学家，自成一家，各有所长。



至于甘氏"先于石氏，其说也最古"之论，除《史记》将齐甘公排在魏石申夫之前外，别无其他证据(《后汉书·天文志》石申夫排在甘公之前)。但《史记》关于甘、石先后的排列顺序，并不能肯定为人物生活年代的早晚。石申夫排在后的原因，可能主要是魏国建立的年代较晚。

与此相反，刘坦在《中国古代之星岁纪年》中认为甘氏星岁纪年法的岁星位置平均要比石氏岁星法提早一个星宿，因此，他认为甘德的活动年代要比石申夫晚约30年。然而，仔细考察甘、石两家纪年法，实际并不存在一个星宿的差距，而是两家二十八宿所选用的星座有些不同。因此，所谓甘德比石申夫晚30年的说法也不成立。

---

① 见《钱宝琮科学史论文集·甘石星经源流考》，科学出版社，1983年。



从陈卓总甘、石、巫三家星表合而为一的记载来看，石申夫星表二十八宿、中外星官都有，其中中外星官几乎全是亮星，而甘氏、巫咸则仅有中外星官中的暗星。这并不是说甘、巫并不注意二十八宿及中外星官中的亮星，仅是陈卓在排列时是以石氏星表为基础的，其他两家星表作为石氏星表的补充。由此即可看出石氏星表的权威性。因此所谓甘氏最古，石氏稍逊的说法并不成立。

关于甘德的著作，据《史记·正义》引《七录》云，甘德作《天文星占》八卷。《隋书·经籍志》载甘德著有《天文星占》八卷和《甘氏四七法》一卷。由此看来，《甘氏四七法》有可能是独立于《天文星占》以外的著作。

二、甘德的恒星观测及《甘氏四七法》

《隋书·经籍志》载甘德著有《甘氏四七法》一卷。《旧唐书·经籍志》、《新唐书·艺文志》也都载有《甘氏四七法》。但是，《开元占经》中没有引载这部书，今已散失，不知其内容。

什么是四七法呢？据《续汉书·律历志下》说："星从天而西，日违天而东。日之所行与运周，在天成度，在历成日。居以列宿，终于四七；受以甲乙，终于六旬。"这段话的意思是说，计量太阳的运动有两种方法，在天上可用度来计量，在历法上可用日来计量。如何用度来计量它的行程呢？太阳在列宿中运动，以四七为周期；如何计量日的行程呢？用干支纪日法，以60天为周期。

由此可知，所谓"四七法"就是以二十八宿为坐标系统，用于测量太阳等天体运动方位的方法。每方七宿，四个方位合计二十八宿，故称四七法。在以往人们所引的甘氏星表中，都缺少有关二十八宿的部分，在《开元占经》中，也缺少甘氏二十八宿的星官。《甘氏四七法》正好包括了这方面的内容。



《甘氏四七法》具体包括哪些内容呢？虽然此文已经散失，但可以肯定地说，它既然成为独立的一卷，篇幅就不会太小，决不会仅限于二十八宿的名称。其内容大致应该包括星宿名、每宿的星数、每宿的距度等，是否还包括各宿的去极度？尚无具体证据[①]。既然这本书已经散失，是否意味着对《甘氏四七法》的内容就一无所知呢？并非如此。

在《开元占经·岁星占》中，有甘氏岁星法，其中载有二十八宿中的大部分星名（缺二宿）。引人注目的是，在这些星名中有相当一部分与石氏星名不同。另外，人们也早已注意到《史记·律书》所载二十八舍星名与《史记·天官书》不同。《天官

---

① 《天文要录》卷十与《鬼占》说："齐甘德曰：与鬼五星，去极六十九度。"所记去极度约有四五处。由于这是记载先秦去极度的唯一文献，而且此书成书年代较晚，是否确为甘德所测，是值得怀疑的。它有可能是汉代甘氏学派所测。

书》所载二十八宿星名，明显地是与石氏星名一致的，而《律书》二十八舍星名则与甘氏岁星法相一致，由此便可推知，《律书》二十八舍星名是采自甘氏的。现将二家二十八宿星名引录于表1—2。

表1—2　二十八宿星星名

	甘氏舍名	石氏宿名
东方七宿	角、亢、氐、房、心、尾、箕	角、亢、氐、房、心、尾、箕
北方七宿	建星、牵牛、须女、虚、危、室、毕	南斗、牵牛、须女、危、营室、东壁
西方七宿	奎、娄、胃、留、浊、参、罚	奎、娄、胃、昴、毕、觜觿、参
南方七宿	狼、弧、注、张、七星、翼、轸	东井、舆鬼、柳、七星、张、翼、轸

其中《律书》二十八舍的建星、留、浊、参、罚、狼、弧、注、张、七星等十宿，与《天官书》二十八宿的南斗、昴、毕、觜觿、参、东井、舆鬼、柳、七星、张的名称不同。当然，按后代的注家所说，其中的留、浊、注即是昴、毕、柳。七星与张倒置。是否真的完全相当？不得而知。然而，其中的建星、参、罚、狼、弧与南斗、觜觿、参、东井、舆鬼却明显地不同。建星在南斗北，罚在觜觿南，狼、弧在东井、舆鬼南。从选用的星座来看，甘氏选用的大都是亮星，而石氏选用的有一部分是暗星，但较为接近于黄道。因此，甘氏二十八舍与石氏二十八宿有明显的不同。是属于我国上古时代的两种不同系统。

在《开元占经》中，除掉载有石氏二十八宿距度以外，还引载有刘向《洪范传》的所谓古度。这两种距度的数值是完全不同的，现引录如表1—3。



表1—3　两种距度数值

宿名	角、亢、氐、房、心、尾、箕	斗、牛、女、虚、危、室、壁	奎、娄、胃、昴、毕、觜、参	井、鬼、柳、星、张、翼、轸
石氏距度	12 9 16 5 5 18 11	26 $\frac{1}{4}$ 8 12 10 7 16 9	16 12 14 11 16 2 9	33 4 15 7 18 18 17
古度	12 （9） 17 7 12 9 10	22 9 10 14 9 20 15	12 15 11 15 15 6 （9）	29 5 18 13 13 13 16

古度数值缺少亢、参两宿。阜阳出土的夏侯灶圆盘上的古度与《洪范传》大部相同，仅五宿有异，其中亢宿为11，参宿为9。从《开元占经》的刻本来看，亢宿不载古度数值似因是古今度相同。参宿之处则是漏刻一行。如将古度亢宿距度取作9度，与今度同，则参宿便为9度。正与圆盘合。因此，《洪范传》古度是可以补齐的。



《淮南子·天文训》载颛顼历的历元为日月俱在营室 5 度。从冬至到立春为 45 日，以太阳日行 1 度计，45 日太阳行 45 度。若以今度推冬至日所在为牵牛 5 度。以古度推为牵牛初度，与文献记载相合。这说明颛顼历用的是古度。又据《天文训》所载星分度，是与石氏一致的，这说明所谓古度、今度的数值，早在西汉太初以前都已存在了。

古度的名称是与今度相对的。西汉太初改历，行用石氏星分度。东汉以后，直至唐代，也都沿用石氏系统。因此，石氏二十八宿星分度也就成为今度了。与此相对，颛顼历所行用的星分度，自太初以后就被废弃不用，所以称为古度。由此看来，《开元占经》所载二十八宿古今两种距度数值，并不意味着古度比今度早。

从以上所述这些迹象来看，所谓古度，似乎应属于甘氏系统的星分度。不过，近年来潘鼐曾对古度进行过详细讨论，从甘氏二十八宿星名中选取距星，与古度相比较，发现有几宿有较大的差距[①]，因此，古度是否就是甘氏星分度，尚待进一步研究。

《玉海》引《乾象新书》说："甘德中官星五十九座，共二百一星，平道至谒者；外官三十九座，共二百九星，天门至青丘；紫微垣星二十座，共一百一星。"合计 118 座，511 星。《开元占经》中载甘氏中官 76 座，外官 42 座，合计 118 座，与《乾象新书》相合。前已述及，陈卓星图及《开元占经》中述及的三家星表，是以石氏为基础，以甘、巫为补充的。未列入这家星表而收入另外两家的恒星，并不意味着这家不以这个星座作为占卜之用，更不意味着这家不认识这个星座。事实上，收入这家星表中的恒星，也都引有其他两家的占辞。因此，中外星官的分类可能仅依该家占文内容最多，位置和星数讲得最清楚为标准。

甘氏中外星官并未给出具体的坐标度数，仅给出星数及与其他星座的相对方位及占文的内容。



三、甘德对五星运动的研究

甘德、石申夫在我国古代行星天文学的研究方面，曾取得了划时代的成就。关于这一点，人们也都是承认的。然而，甘德、石申夫所记载的行星知识具体有哪些内容？他们具有哪些创新？对后代天文学究竟产生了哪些影响？却缺少具体系统的研究。

在《开元占经》中，载有甘氏关于木星的行度，说："岁星凡十二岁而周，皆三百七十日而夕入于西方。三十日复晨出于东方。视其进退左右以占其妖祥。"因此，

① 见《我国早期的二十八宿观测及其时代考》，《中华文史论丛》第三辑，1979 年。

甘氏所用木星的会合周期为400天整。甘德也认识到木星运行有快慢，也知道它经常偏离黄道南北，但尚未认识到这些变化是有规律的。甘氏木星会合周期比准确值(398.88日)仅大1.2日，但比三统历、四分历的数据(398.7日、398.8日)都要粗略。而比长沙马王堆出土的帛书《五星占》的木星会合周期(395.44日)要精密一些。由于《五星占》所用木星初见至伏的日数恰为365日，显然带有凑合成一年日数的用意，以至增大了误差。由此看来，甘氏对于木星行度的认识，也确是代表了战国时的实际水平。

在《开元占经》中，引载有甘、石关于水星的行度。石氏说："辰星仲春春分，暮出奎、胃东五舍，为齐；仲夏夏至暮出东井、舆鬼、柳东七舍，为楚；仲秋秋分暮出角、亢、氐、房东四舍，为汉中；仲冬冬至晨出东方与尾、箕、斗、牛俱出西方，为中国。"石氏是认识到水星始终出现在太阳前后的，不过，其所说春分、夏至、秋分水星暮出，冬至晨出，这是没有科学根据的。不过，它可能是我国早期天文学家的认识。这种说法也见载于《史记・天官书》、《春秋纬》和皇甫谧《年历》，可能都出自石氏。

《开元占经》引甘氏说："辰星是正四时，春分效娄，夏至效舆鬼，秋分效亢，冬至效牵牛。"这种说法比石氏要准确一些，娄、鬼、亢、牛是春分、夏至、秋分、冬至的太阳所在，是说明水星紧随日前后的。《汉书・律历志》说："水星一复一百一十五日，行星亦如之，故曰日行一度。"此指水星的平均行度，是从115日行115度而推得的。但不能将这种说法理解成它的恒星周期为一年。

甘氏又说："其出东方也，行星四舍，为日四十八日，退连(其数)二十日，而反入于东方；其夕出西方也，行星四舍四十八日，其速(数)也，二十日而反入于西方。"其中"退连"和"其速"的词义不好理解。在《史记・天官书》中也有一段与此完全类似的文字，可见它采自甘氏。但其中的"退连"为"其数"，"其速"也为其数。两词之差，文意就大体清楚了。甘氏所定的水星见伏的四个阶段为：晨见东方四舍四十八日，伏二十日，夕见西方四舍四十八日，伏二十日。一个会合周期为一百三十六日。水星的实际会合周期为115日，从甘氏所给出的水星四个阶段的见伏行程来看，对于水星的运动状态，已经有了一个初步的了解，也大致掌握了它的会合周期。然而，其会合周期比真值大二十一日，误差是很大的。再说，水星晨伏和夕伏的时间间隔是不等的，晨见和夕见的日数也不完全相同，甘氏都把它们当作相等来处理，也是很不准确的。但是，正是这些不太准确的粗略数据和观测结果，却向我们提供了我国上古行星知识产生时代的一些原始状况，从而也证实了《开元占经》所载的甘氏辰星行度，确是战国时甘德所作。

据《汉书・天文志》说："古历五星之推，亡逆行者，至甘氏、石氏《经》，以荧惑、太白为有逆行。"《史记・天官书》也说："故甘、石历五星法，惟独荧惑有反逆行。"都





一致肯定在甘、石以前，人们对行星的认识还只知其有顺行，至甘德、石申夫时，才发现行星有逆行的。

西汉太初以前的天文文献中，很少见有关于火星行度的记载，《史记·天官书》及帛书《五星占》都缺。《开元占经》所引刘向《洪范传》说："火星顺行二十八宿，右旋二周岁一周天。"虽然记载了一个大致的会合周期，但确实未提及逆行。其会合周期（2年）的数值也与真值（780日）有很大的误差。

但是《史记》、《汉书》都说甘、石荧惑有逆行。关于甘德、石申夫逆行的记载，仅见于《开元占经》："荧惑发东方，修纬反常十六舍而上，逆行西运，动以成章，舍一舍半。"这段文字很难理解。我认为，"发东方"应理解为晨始见于东方；"成章"就是形成规律。它的大意是，荧惑从晨始见于东方开始，顺行十六舍而出现反常状态，便向西逆行，行一舍半而复顺行，行十六舍而复晨见于东方。

一周天365 $\frac{1}{4}$度，分为二十八舍，则一舍平均为13 $\frac{5}{112}$度。顺行32舍为430度，逆行一舍半为20度。因此，火星一个会合周期运行410度。这就是文献中所述及的甘德荧惑有逆行的原始文献。缺少一个会合周期所需的日数。

《开元占经》中也有石氏荧惑行度的记载："率百五十六日而行八十二度。"其4倍为780日行410度，正与以上甘氏的数值相合。看来甘氏和石氏火星的出没动态数值是一致的。

《汉书·律历志下》载三统历火星的行度，从晨始见后经276日顺行159度，留10日，又经62日逆行17度，再留10日，经276日顺行159度，伏146日行114度，完成一周。合计780日行415度。会合周期和行度都较精密。甘氏火星会合周期与三统历大体一致，但行度却相差5度；又三统历除载明顺行逆行外，还载明两次留的日数，可见三统历已较甘氏法取得了较大的进步。



在《开元占经·太白占》中，还引有甘氏对于太白行度的记载。说："太白以摄提格之岁正月与营室晨出于东方……（有脱文）亢、氐出东方，为日八岁二百二十二日，而复与营室晨出于东方。"使用的是夏正岁星纪年法，与甘德岁星法不合，这段文字也与帛书《五星占》大体一致，疑为其后继者所做的工作。

通过甘氏水星行度、木星行度、火星行度、金星行度与石氏行星行度的比较，使我们较清楚地认识到，甘氏的五星法比石氏要进步一些。这大约就是吴汝纶所说的石氏较甘氏稍逊的依据。

四、甘德的历法成就

《史记·天官书》载有"甘、石历五星法"，在《汉书》中也有类似的记载，从甘、石所留下丰富的关于岁星纪年和五星运动的资料来看，根据我国古代的天文学传统，

它们理所当然地是属于历法的一部分。所以，可以肯定地说，甘德是制定过历法的。

在本书“石申夫”一节中，我们曾指出过，依据甘、石所处的时代，可以肯定地说，他们使用的是四分历。前面也已指出，甘氏历用的是周正。至于甘德历是不是就是鲁历或是齐历，目前尚无具体的证据可以说明。不过，有迹象表明，鲁历所用的天文学系统和基本数据是属于甘氏系统的，例如，一行在《大衍历议・日度议》中就曾说过：“鲁历南方有狼、弧，无东井、鬼；北方有建星，无南斗。井、斗度长，弧、建度短，故以正昏明云。”由此可知鲁历的二十八宿是属于甘氏系统的。鲁是甘德的家乡，属于同一系统是容易理解的。

甘德有岁星纪年法，《开元占经》引甘氏岁星法说：“摄提格之岁，摄提格在寅，岁星在丑，以正月与建、斗、牵牛、婺女(《汉书・天文志》载甘氏法在“建星、婺女”，疑“斗、牵牛”为衍文)晨出东方，为日十二月，夕入于西方，其名曰益隐，其状苍苍若有光。……单阏之岁，摄提格在卯，岁星在子，与须女、虚、危(《汉书・天文志》载甘氏法为虚、危，此处须女也应为衍文)晨出夕入。其状甚大有光，若有小赤星附于其侧，是谓同盟。[①] ……执徐之岁，摄提在辰，岁星在亥，与营室、东壁晨出夕入。……”

由以上引文可以看出，甘氏岁星法非但内容最为丰富详细，而且具有自己的特色。首先，甘氏岁星法不用岁阴、太阴或太白的名称，而是称之为摄提格。这一记载给我们研究岁阴、太岁名称的实际意义提供了重要的线索，也给了我们重要的启发。甘氏所说的摄提格，既是岁星纪年中的第一个岁名，又代表用以纪岁的一种标志物。这一标志物第一年(摄提格之岁)正月在寅方，第二年(单阏之岁)二月在卯方，第三年(执徐之年)三月在辰方，等等。更令人注意的是，在甘氏岁星纪年法中的第一、二年载摄提格在寅，摄提格在卯。以下不写摄提格，径直写为摄提了。可见在岁星纪年中的摄提格是从摄提转化来的。



《史记・天官书》说：“斗为帝车，运于中央，临制四乡。分阴阳，建四时，均五行，移节度，定诸纪，皆系于斗。”又说：“大角者，天王帝廷，其两旁各有三星，鼎足句之，曰摄提。摄提者，直斗杓所指，以建时节，故曰摄提格。”

由此可知，摄提是星名，它在大角星附近，在斗杓所指的延长线上。因此，古人以它与斗杓配合在一起，用来判断季节。这就是十二月建。《史记・历书》也说：“其后三苗服九黎之德，故二官(指重、黎)咸废所职，而闰余乖次，孟陬殄灭，摄提无纪，历数失序。”历数失序是由于摄提无纪引起的。摄提是星名，那么摄提格的“格”

---

① 席泽宗曾注意到“若有小赤星附于其侧，是谓同盟”的记载，指出早在2000年前甘德就观测到木星有卫星，是对木卫的最早记载。甘德是木星卫星的最早发现者。



字是什么意义呢？《集解》说："格，至也。言摄提随月建至，故云格也。"

由以上记载我们可以发现如下一条线索，太岁、岁阴即是摄提格的异名。而摄提格即是摄提星随月建所至之意。因此，所谓太岁在寅，就是摄提至寅，即是指摄提星指向寅方。由此看来，以往人们对太岁为假想物的解释，也许是不正确的。岁星纪年中的岁星、太岁等都是实际天象。例如，第一年，名之为摄提格之岁，该年正月时岁星与建星、婺女（即天球上的丑方）晨出东方，同时正月黄昏时斗柄及摄提星指向卯方；……由此可知，岁星纪年中的各月岁星所在、太岁所在，是由此规定的。

从这里也可以清楚地看出，所谓摄提格在寅，也即太岁在寅，并非是该年全年都是在寅位，而是指该年正月初昏时处于寅位。同理，太岁在卯，即是该年二月初昏时太岁处于卯位。以下依次类推。

在甘氏岁星纪年法中，第一年曾详细地描述岁星的行程："岁星以正月与建星牵牛晨出于东方，为日十二月，夕入于西方。"岁星第一年正月在建星、牵牛，此年整个一年岁星都在这个星次，至第二年的正月，还未离开这个星次，所以有"为日十二月，夕入于西方。"直到第二年的二月，岁星才进入虚、危所在星次。以后各年就讲得更干脆了：单阏之岁，岁星与"虚、危晨出夕入"；执徐之岁，岁星"与营室、东壁晨出夕入"，等等，不再提几月晨出。由此看来，在甘氏岁星法中，寅年岁星在建星、牵牛，卯年在虚、危，辰年在营室、东壁……由于木星并非十二年整行一周，仅为11.86年，这种纪年法用久之后必然发生偏离，所以可以用它来判断甘、石岁星法创立的年代，我们已在"石申夫"一节中讨论过。

在甘氏岁星纪年中，还给出有以十二年为周期的治、乱、丰、歉、水、旱等预报的方法，这是其他各家纪年法中所没有的内容。

在甘德的天文历法工作中，与战国时其他各家相比，行星运动的知识是较为丰富的，成就也最大。前已述及，不再重复。



（撰稿人：陈久金）

第二章 两汉天文学家

第一节 司马迁

伟大的历史学家、文学家司马迁(约前145—前87),同时也是一位伟大的天文学家。司马迁在天文学上有着重要的发明和贡献,对中国天文学的发展起了巨大的促进作用。

一、家世和简历


图2—1 司马迁像

司马迁在他的巨著《史记》一百三十篇的最后,撰写了一篇《太史公自序》。在自序中,司马迁介绍了自己的家世和生平。他是古代天文学家重、黎的后代,他的家在夏、商两代都是“世序天地”,从事天文、历法工作的。到了周代,他家获姓司马氏,并且“世典周史”。周代的史,职掌采集、记录各项国家大事;搜罗、保存各种典籍文献;也职掌天文、历法,以及占星术、选择吉日良辰和祭祀等活动。也就是说,周代的史,既是个历史学家,也是个天文学家和祭司。总之,司马迁在自序中摆的是一个天文官世家的家谱。

司马迁的父亲司马谈是汉武帝的史官——太史令。这也是汉代最高的天文官。司马谈受过很好的天文学训练。这对司马迁本人的天文学学习是个极有利的条件。

司马迁字子长,约在汉景帝中元五年(前145)生于今陕西韩城市芝川镇。他早年经历了艰苦而深入的学习生活。大约在武帝元狩、元鼎年间(前122—前116),他当了一名仪仗侍卫官——郎中。他曾跟随汉武帝出巡过几次,元鼎六年(前111)曾奉武帝之命去四川、云南一带视察。

公元前110年,司马谈病故,临终前嘱咐司马迁一定要当太史令,继续他家“典天官”的传统。公元前108年,司马迁果然当上了太史令。他以极大的事业心,日夜竭力地搞好他的本职工作。除了例行工作外,他还做了一件以前历任太史令都



没有做过的大事，发起了规模盛大的改历活动。

作为一名史官，司马迁又开始实践他父亲的另一项遗愿，即撰写一部史书。很不幸，几年之后他蒙受了一场奇冤，被处腐刑。这是天汉三年（前98）的事。从此，他看破了武帝的残酷无情。虽然后来又充任为代皇帝传言的中书令，但对朝廷事务已毫无兴趣，只是把全部心力倾注在他的著述上。最后，著成了《史记》一书。他立志通过这部书来"究天人之际，通古今之变，成一家之言"。实际上，他是要通过客观的历史事实来研究当时的整个社会。鉴于天文学在当时社会中的特殊作用，司马迁在《史记》中对天文学给予了很大的关注。他不但在许多篇纪、表、传中记载了有关天文学的资料，而且还写有《历书》和《天官书》这两篇专论天文学的文字，开创了中国正史系统地记述天文学史料的优良传统，从而使我国历代天文学的丰富史料得以流传至今。仅此一端，司马迁就是天文学发展史上的一大功臣。

司马迁约卒于汉武帝末年，即公元前87年左右。

二、历法和行星天文学上的贡献

在历法和行星天文学方面，司马迁有三项贡献。

（1）他根据历代月食记录，总结出月食现象的发生存在着周期性规律，并提出了现存中国历史上第一个交食周期数据。由此开始，中国历法中逐渐发展起日食、月食的预报工作。

（2）他分析了历任史官留下的行星记录，发现在五大行星的运动中都有逆行，进而他提出了各个行星在一个会合周期中，包括逆行的时间和行度在内的完整的行星动态表。而在司马迁之前，虽然人们早已观测到行星有逆行，但却认为除了火星和金星的逆行外，其他行星的逆行都是一种反常的变异。就是对金、火两星来说，它们在顺行和逆行变换之际的"留"，也认为是一种异常现象，因而前人把这些都归入到占星术的范畴里去了。司马迁的发现把五个行星的逆行都归入到正常的、可计算的范畴，从而使中国历法中有关行星的研究工作向前推进了一大步。



在行星工作方面还有两点也值得一提。一是司马迁指出行星在逆行时就变得更加光亮，指出金星有时可亮到照出地面的影子，甚至可在上中天见到它。这些结论都是符合实际的。二是现今所通称的水、金、火、木、土五个行星的名字，正是首见于他的《史记·天官书》。在此之前，这五颗星分别叫辰星、太白、荧惑、岁星、填星（或镇星）。司马迁是在古代的五行理论支配下，根据五个行星的颜色特征起的名字，即：木青、土黄、火赤、金白、水黑。可以看出，除了水星配黑色纯系凑合外，其他四星的颜色与天文实际是相符的。

（3）他发起的太初元年（前104）的历法改革，是一次中国天文学史上的重大事

件。原来，西汉王朝一直沿用秦始皇时代修定的颛顼历。由于误差的长期积累，颛项历预报的朔望、节气时刻都落后于实际天象发生的时刻。司马迁联合了大中大夫公孙卿、壶遂，向汉武帝上书改历。这次改历是一场规模盛大的天文活动。司马迁参加了为制定新历而进行的安装仪器、测量等工作。虽然最后颁行的新历——太初历并不是他制定的，但是他对太初历的进步有下述几点贡献：

①司马迁等人根据颛顼历的误差情况，把朔望和节气各向前推移一段时间，确定了新的历元。这个历元后来被太初历采纳了。

②司马迁等人重新测定了冬至点的位置。而在颛顼历中用的乃是春秋末年测定的冬至点数值。由于岁差的缘故，到司马迁时，冬至点已移动了 5 度左右，若不改测，误差是很大的。

③司马迁等人还为新历测定了一些有关恒星和行星的基本数据。

④前述司马迁发现的月食周期和行星逆行规律，对太初历来说当然也具有指导意义。

太初历主张用夏正（把冬至放在十一月），司马迁主张用周正（把冬至放在正月）；太初历主张以无中气之月为闰月，司马迁主张把闰月放在年末。除了这两点司马迁不如太初历作者之外，太初历的主要进步之点中，大多与司马迁是密切相关的。而为了和乐律生硬地联系起来，太初历却篡改了朔望月和回归年这样一些基本的天文数据。这个故神其说的错误做法，虽然博得了汉武帝的欣赏，却受到司马迁的反对。他在《史记・历书》中只字不提太初历的本身，却用《历术甲子篇》的形式，记下了他对回归年和朔望月数值的见解。在这两项最基本的天文数据上，太初历的确不如司马迁的《历术甲子篇》[①]。

三、星官的传人

司马迁在《史记・天官书》中记下了当时皇家天文机构所掌握的天文学知识概貌（不包括历法知识）。它是现存介绍全天星官的最早的完整文献。虽然战国时代的石申夫（一作石申）《天文》八卷（后称《石氏星经》）和甘德《天文星占》八卷（后称《甘氏星经》）等著作中也有他们自己的全天星官体系，但这些著作都没有完整而可靠地流传下来。现今在唐代的几部星占学著作，如《开元占经》等书中，可以见到大

① 司马迁认为颛顼历的回归年和朔望月数值仍然可用，即 1 回归年 $=365\frac{1}{4}$ 日 $=365.25$ 日；1 朔望日 $=29\frac{499}{940}$ 日 $=29.53085$ 日。但太初历首先把 1 朔望月改为 $29\frac{43}{81}$ 日 $=29.53086$ 日，声称“81”是黄钟音调的律管长度 9 寸的平方数，由此把天文数据和乐律联系起来。于是，太初历的回归年也必须修改为 $365\frac{385}{1539}$ 日 $=365.2502$ 日，用现代理论推算，当时的回归年应为 365.2423 日，朔望月为29.53059日，太初历的确稍差。



量标为石氏和甘氏的话语。但是其中无疑渗入了后人的东西。究竟有多少是先秦的遗文，还须仔细探讨。

中国古代为了辨认恒星、观测和记录天象的需要，把天上所见的恒星多少不等地组合起来。这种恒星组合的单位称为星官。在早期，不同的天文学派组合出不同的星官和星官体系。过去人们因为《天官书》中所述的二十八宿以及木星在二十八宿间运动的情况和石氏所述的相当，所以就自然地认为《天官书》中的星官也是抄自石氏的。但是把《天官书》和《开元占经》中所载的石氏星官比较一下，便可看出事情并不那么简单。

《天官书》共记有 88 个星官，如果认为其中佚失了一个星官名，则有 89 个星官。这些星官中只有 4 个是石氏星官中所没有的。然而这些星官的名称和星数，两家有很大的不同。请看表 2—1，其中《书》代表《史记・天官书》，《石》代表《石氏星经》。

表 2—1　《天官书》和《石氏星经》星官比较

	星官名	星数	星官名	星数	星官名	星数	星官名	星数	星官名	星数
《书》	天极	4	后句	4	紫宫	12	天一	3	阁道	17
《石》	北极	5	钩陈	6	紫微垣	15	天一	1	阁道	6
《书》	天锋	1	贱人之牢	15	旗	12	太微	12	五帝坐	5
《石》	玄戈	1	贯索	9	天市垣	22	太微	10	黄帝生 四帝生	1 4
《书》	将位	1	少微	5	五车	(?)	五帝车舍	5	天苑	9
《石》	郎将	1	少微	4	五柱	15	五车	5	天苑	16
《书》	天旗	9	弧	4	垒	4	天潢 江星	8 (?)	天驷 王良	4 1
《石》	参旗	9	弧	9	垒壁阵	1	天津	9	王良	5
《书》	杵血	4								
《石》	败血	4								

此外，有的星官名称虽然相同，但《天官书》和《石氏星经》所述位置却完全不同。例如，《天官书》说天枪 3 星在"紫宫左"，《石氏星经》却说在"斗杓东"。《天官书》说长沙星在轸宿旁，《石氏星经》却说在轸"中"。

有的星官名称，《石氏星经》显然晚于《天官书》。例如，《石氏星经》的五车是由《天官书》的五帝车舍简化而成。有的石氏星官是出于《天官书》的文字附会而设。例如，《天官书》说："胃为天仓。"即把胃宿比作天上的仓库。而石氏却因而在胃宿的西南方另外设立了天仓这个星官。



根据上述情况我们可以断定，《天官书》绝不是抄的石氏星官。鉴于司马氏世主天官，司马迁父子均任太史令的事实，我们有理由提出，《天官书》里的星官体系是司马氏的体系；这个体系当也是汉代皇家天文机构所使用的体系，并且有可能追溯到先秦。把这个司马氏星官体系认证清楚，对于天文学史的研究以及对于现代天文学上研究古天象记录的工作来说，都具有很大的意义。

四、古代奇异天象的索隐

所谓奇异天象，是指并不经常出现的、古人因不明其本质而对之有神秘感的天象。其中有彗星、流星、陨星、新星和超新星、极光以及其他天象。所以古人常会对同一种天象只因其某些形态乃至出现的方位不同而给予种种奇异的名字。只有根据古代对这些天象的具体描述才能判断它们究竟是什么天象。《史记·天官书》是现存最早描述各种奇异天象的可靠著作[①]，其中记载的天象名称共有 20 多个。从具体的描述来看，大概有以下几类：

(1)彗星。其中有四种据说是由于木星运行失常而生的，它们分别出现在东北、东南、西北、西南四个方位，称为天棓、彗星、天欃、天枪，其实它们都是彗尾长而直的彗星。有一种尾巴特别弯曲的彗星，称为蚩尤之旗。还有五条彗尾、出现在东方的彗星称为五残星，等等。

(2)流星和陨石。有的流星，它的余迹会受到气流的影响，发生扭曲变化，好像蛇行一样，被称为枉矢。有的流星体相当大，在大气层中未及烧毁，坠入地面，成为陨石，《天官书》称之为坠星。有的陨石状如狗，堕地时造成很大的陨石坑，被称为天狗。有的大流星在大气层中发生了爆炸，碎块在飞行过程中烧毁。如果这种爆炸发生在白昼，人们没注意到它的光亮，而只听到它的爆炸声，这就是所谓天鼓。



(3)极光。《天官书》中记有多种极光现象。一种状如火炬的极光，称为烛星；一种无定形的弥散光面型极光，看上去若烟非烟，若云非云，被称为卿云；有时在黑夜的天幕上突然出现一条光带状极光，天好像开裂了一样，即被称为天开。

(4)黄道光。《天官书》上对格泽星的描述就很像是黄道光现象："如炎火之状，黄白，起地而上，下大上兑(锐)。"这是世界上最早的描述黄道光的文字之一。

(5)新星和超新星。它们原来都是肉眼看不见的星。忽然，亮度猛增，人们看到天上新出现了一颗星。后来这颗星又慢慢暗下去，逐渐不见。古人因称之为客星。有时客星很亮，受大气衍射的影响，看上去它好像散发出许多光芒，古人因而又称之为孛星。这两种名称在《天官书》里都有，不过"孛"被写成"茀"，以更强调它

① 近年来在马王堆汉墓中出土的帛书《天文气象杂占》残存有对各种形态的彗星的描述。在唐代的星占著作中还有石氏、甘氏对奇异天象的各种描述的摘录。但是它们的时代还难断定。



的光芒四出。需要注意的是，彗星也具有出现而后又消失的现象；有的彗星也会向四周喷发出气体，显得芒气四出。所以古代的“客星”或“孛星”中也会包括彗星。这样，我们在整理历代天象资料时必须注意把彗星和新星、超新星区别开来。尽管如此，由于新星和超新星记录在现代天文学上有重要意义，所以各国天文学家对中国古代的客星和孛星记录充满了兴趣。

五、恒星颜色的观测

恒星的颜色是恒星的重要物理特征之一。《天官书》是现存的我国第一部记述恒星颜色的书，它给后世留下了很有价值的资料。书中记载的恒星颜色有：

质，白色；狼，白色；心大星，赤色；参左肩，黄色；参右肩，苍色；奎大星，黑色；南极（老人星），赤色；昴，白色。

质，即鬼星团，M34。昴，即昴星团，M45。参右肩，即参宿七，猎户座γ星。心大星，即心宿二，天蝎座α星。狼，天狼星，即大犬座α星。司马迁对这几颗星的颜色描述都与现代观测到的一致。奎大星，即仙女座β星，红而较暗。司马迁为适应五行理论，称之为黑色。考虑到中国古代有把深色的东西称为墨色、黑色的习惯，说奎大星为黑色，也可勉强凑合。

不符合现今所见的有两颗。一颗是南极老人星，即船底座α星。现今所见光谱型为 F_0，属黄白色，《天官书》称赤色。其原因可能是因该星的赤纬太低，对黄河流域的观测者来说，它的地平高度最多只有 5°左右。由于地面大气较强的消光作用，会使星色看上去变红。

另一颗是参左肩，即参宿四，猎户座α星。现今所见为红色的 Ma 型星。1975年，戴文赛指出，这可能是两千多年间这颗恒星演化的结果。在他的指导下，1978年的《科技史文集·天文学史专辑(1)》上发表了《论参宿四两千年来的颜色变化》一文，论证了这颗星的古今颜色变化可能是由于演化和大量抛射物质的结果。近年来，在国际上对这颗星的颜色变化也有许多讨论。总之，司马迁把参宿四记为黄色，看来是事出有因的，很值得深入研究。



六、恒星亮度概念的雏型

中国古代没有像古希腊天文学中那样数量化的星等概念。但是，中国古代观测者当然会注意到星有亮、暗这个事实。《天官书》中就记有某种定性式的亮度概念。可以把它视为是一种星等概念的原始雏型。

《天官书》把恒星亮度大体分为五个等级，这五级之间并无严格的界限，但它们之间的亮度区别是大体可以辨别出来的。

第一级，叫"大星"。有这一称谓的星有 11 颗，如表 2—2 所载。

表 2—2 《天官书》中的大星

星名	心宿二（天蝎座 α）	南门一（半人马座 β）	南门二（半人马座 β）	轩辕十四（狮子座 α）	毕宿五（金牛座 α）	狼（大犬座 α）
亮度	1.22	0.86	0.33	1.34	1.06	−1.58
星名	南极老人（船底座 α）	北落（南鱼座 α）	河鼓二（天鹰座 α）	奎大星（仙女座 β）	将位 ?	
亮度	−0.86	1.29	0.89	2.37	?	

在 10 颗已证认出的星中，以奎大星为最暗[①]。其他 9 颗都在星等 1.5 等以内。如果计入奎大星，则这 10 颗星的平均亮度为星等 0.69 等。如果不计奎大星，则 9 颗星的平均亮度为 0.51 等。

第二级，叫"明者"。只有一颗星有这称谓，即北极四星中最亮的一颗，小熊座 β 星。星等 2.24 等。

第三级，是不加特殊称谓的一般星。《天官书》中的 500 多颗星，绝大部分未加特殊称谓。其中有亮到 2 等以上，乃至像织女星这样的亮星。有暗到 5 等以下的暗星。不过，其中大多数是 3～4 等左右的星。

第四级，叫"小星"。明确提到的有 3 颗，见表 2—3。另外还有觜觿三星（猎户座 λ、ϕ_1、ϕ_2）被称为"小三星"。如不计这"小三星"，则 3 颗小星的平均星等为 4.62 等。如计入"小三星"，则平均星等为 4.41 等。

表 2—3 《天官书》中的小星和小三星

星名	轩辕御者（狮子座 31）	长沙（乌鸦座 η）	附耳（金牛座 92）	觜觿一（猎户座 λ）	觜觿二（φ_1）	觜觿三（φ_2）
亮度	4.58	4.42	4.85	3.66	4.53	4.39



第五级最暗，称为"若见若不"。这名称只对阴德（又名天一）三星用过。这三星是天龙座 10 号星，以及南京大学《全天恒星表》（1972 年）中的第 11880 号和第 11686 号星。它们的星等分别为 4.77、5.70 和 6.66 等。第一颗星自然不难看到；第二颗星比较困难；第三颗星则必须有很好的视力，而且在天气较好的条件下才能看到。故称之为"若见若不"。

总起来说，司马迁所记恒星亮度的五个等级大体可以这么区分：大星，主要指

① 奎大星的称呼并未出现在介绍星官的文字中，而是出现在讲恒星颜色的那部分中。



1.5 等以上的星。明者，指 2 等左右的星。一般无特殊称谓的星为 3～4 等。小星，为 4.5 等左右的星。若见若不，指 5～6 等星。这几级星彼此有交叉，但大体上的区别还是有的。

七、关于变星的观测

有一些恒星，它的亮度不断在变化，这种星称为变星。由于中国古代对星的亮度还没有形成足够精确的数量化概念，因而对一般亮度变化不大的变星，就没法用明晰的概念来反映。但是，其最大亮度在人目可见的范围，而最小的亮度又在人目不可见范围的变星，有时出现，有时消失，这种状态既容易被勤于观测的中国古代天文工作者所发觉，也容易被描述传载给后人。《天官书》中就有几处文字可能记述了这个现象：

> 贱人之牢，其牢中星实则囚多，虚则开脱。
>
> (天)市中星众者实，其虚则耗。
>
> 三柱。柱不具，兵起。

“贱人之牢”，主要包括北冕座的半圆形部分，其中有两颗变星 R、S，变幅分别为 5.8～14.8 等和 6.6～14.0 等。当 R、S 可见时，牢中星就实，反之则可称为虚。

“天市”，司马迁所说的是四颗星，我们证认是蛇夫座 α、κ、υ 三星及巨蛇座 η 星，这四星的范围内有蛇夫座 U 及 R、S 变星两颗，变幅分别为 5.8～6.5 等和 5.3～12.3 等。其情况与上同。

“三柱”，是指“五帝车舍”(后世称五车)五颗星范围内的三个柱。其中西北一柱为御夫座 ζ、ε、η 三颗星，ε 和 ζ 均为变星，ε 的变幅为 5.0～5.6 等。这个食变星周期达 972 天，在它亮度极小而天气条件又较差的情况下就有可能看不见，这时就可以说是“柱不具”。



司马迁注意并记载了多颗变星，这项成就在当时世界上是不多见的。

八、司马迁的天文学思想

司马迁写《史记》是为了“究天人之际”。这个“天”是指上天，“人”则是指人间世界。按照古代封建统治阶级的观念，认为天是有意志的，它主宰着人间的一切。帝王则受天之命来统治人间。天会通过天上的各种现象来警告地上的人们，人间将要发生何种吉凶大事。天象和人间的治乱兴亡之类的现象是相应的，所谓“天人之际”就是指的这个相应的关系。而这个关系也正是占星术讨论的范畴。

因此，司马迁是相信占星术的。他说：“为国者必贵三五。”(《天官书》)所谓三，指日、月、星三光。所谓五，指日晕、月晕、适(一种与太阳有关的自然现象)、云、风

这五种天象。司马迁认为,这三五"与政事俯仰,最近天人之符"。可见,"必贵三五"也就是必须重视占星术的意思。他本人就从历代的天象记录中去查找相应人间发生的大事。《天官书》中就举了"秦皇始之时,十五年彗星四见"一直到汉太初年间"星茀招摇"等的天象。每次天象之后,又提出相应的军国大事。于是,他概括道:"此其荦荦大者。若至委曲小变,不可胜道。由是观之,未有不先形见而应随之者也。"正因为如此,我们翻开他的《天官书》,看到的是通篇的占星术词句。

然而,作为一个天文学家,司马迁却并不受占星术的束缚。因为在研究各种具体问题的时候,他的注意力是在客观的事实上。研究事实,从事实中引出事物发展的固有规律,这就使他做出了或大或小的科学发现。与此同时,他对占星术也就做出了局部的否定。

例如,关于五星逆行规律的发现和月食周期的发现,就是两个典型的例子。虽然过去星占家对五星逆行和月食现象都有大量的星占条文,但司马迁从汉王朝皇家天文台所保存的100多年来的行星运动观测记录中发现,五大行星的留、逆都不是希见的现象。由此他不顾以往的占星术条文,而是对天文实测记录进行认真的比较研究,终于总结出包括留、逆在内的五星运动的全面的较正确的规律。对月食规律的总结也是这样。

由于对天象和人事的客观研究,使司马迁得以发现占星术教条常常和客观实际有明显的矛盾。例如,他对以往许多著名的星占家提出了批评。他说:"幽、厉以往尚矣,所见天变,皆国殊窟穴,家占物怪,以合时应,其文图籍禨祥不法","近世十二诸侯、七国相王,言从衡继踵,而皋、唐、甘、石,因时务,论其书传,故其占验,凌杂米盐。"(《史记·天官书》)所谓"禨祥不法","占验凌杂米盐",都是一派贬词。而皋、唐、甘、石都还是司马迁赞誉为"传天数者",即能知道天人之间神秘对应关系的人。可见,司马迁并不把过去的占星术条文都看作是神圣不可改易的。



作为一个研究人类活动的历史学家,司马迁相信人的力量。他认为,人间的吉凶祸福主要还是由人们自己的行为决定的。天上的现象只是上天对人间的政治状况所做出的一个预警性的反映。这种预警发出之后也并不是不可改易的。

比如说,他认为决定一个国君命运的是他力量的强弱和德行的厚寡。他说:"国君强大有德者昌,弱小饰诈者亡。"(《天官书》)因此,他认为一个国君应付天变的办法:"太上修德,其次修政,其次修救,其次修禳,正下无之。"(同上书)所谓修救,就是在天变发生之后根据上天所警告之点采取救急措施,以求消除灾祸根源。所谓修禳,则是在天变发生之后举行各种祈祷,从事宗教活动以求禳解灾祸,使上天回心转意,收回它的警告。司马迁并没有彻底否定天意的作用。但是,他把修禳放在四种应付天变办法中的最末一种,而把事先调整国君自己的行为,即修德和修



政放在第一、二位，把遇事而临时调整自己的行为，即修救放在第三位，但仍在修禳之前。这表明，司马迁认为，对于国君的命运来说，他自己的行为比天意的作用要大得多。这样的思想实际上已经接近了对天意的否定。

司马迁还有过对其他理论方面的议论。《天官书》曾偶然出现两句关于恒星及银河本质的议论。他说："星者，金之散气，本曰火"，"汉者亦金之散气，本曰水"。这两条议论很有趣味。第一，他把银河看成是和恒星一样的东西：金之散气。现在我们知道，明亮的银河是由千亿颗恒星构成的巨大的天体系统。司马迁的议论，从一定意义上来说与实际有所巧合。第二，人目所见的恒星都是自己发光的炽热气体球，从某种意义上来说，可以比之为一团火。司马迁说本曰火，也有所巧合。当然，我们要强调，这只是巧合。司马迁是在古代的五行理论指导下提出这些说法的，并不是基于科学观测和理论上的科学预言。例如，他把银河之本说成是水，这是从银河的名称上联想出来的，它在实际上毫无巧合可言。虽然这么说，司马迁的两个巧合的说法终究还是有趣的猜测。

总起来说，司马迁的天文学思想是异常光辉的，我们也完全有理由称他为一位伟大的天文学家。

（撰稿人：薄树人）

第二节 京 房

一、生平



京房（前 77—前 37），字君明，东郡顿丘（现河南清丰县西南）人，他生活在西汉王朝急剧走下坡路的时代。当时，社会阶级矛盾十分尖锐，并且频频发生严重的自然灾害。汉武帝曾在策贤良文学士制中提出"灾异之变，何缘而起"的问题，要求给予研究回答，并进一步探讨灾异与政治的关系。董仲舒以"天人感应"对策，认为灾异是上天对人君发出的警告，警告人君所用官吏不贤明，使"主德不宣，恩泽不流"，而致暴虐民众。他的唯心主义观点被武帝采纳，自此"尊儒术而黜百家"。京房生活在这个时代，他的学术活动，不可避免地具有浓厚的时代色彩。

京房的一生可以划分为两个阶段，32 岁以前主要从事学习和研究，32 岁后到被杀，是他的仕途生涯。

京房一生的前一阶段，最突出的是他曾跟焦赣（焦延寿）学习和研究《易经》。自汉武帝设置"五经博士"后，《周易》便被列为一大经典。元帝时好儒，博士可收弟子三

千，可见易学是当时很热门的学问。焦赣不是博士，也不从博士录学，据说是从隐士处学的易。[①] 其学说“长于灾变，分六十四卦，更直日用事，以风雨寒温为候，各有占验。”[②]但焦赣自称他曾“从孟喜问易”。孟喜是当时三大易学学派之一的首领，与其他两派的首领施雠、梁丘贺都同受业于田王孙。焦孟二人都将易与阴阳灾变联系起来，形成了以自然界为研究对象的易学新方向，与原来的儒家易有了很大差别。孟喜易学与焦赣易学确有某种关联，故使京房以为焦氏易学即孟氏易学。

孟喜候阴阳灾变有一套办法，他首先提出“六日七分”法，即将六十四卦中的震离兑坎四卦主二分二至，专表季节而不表具体日子。将 $365\frac{1}{4}$日被六十卦平分，取一日为 80 分，便得每卦六日七分，即一卦主 $6\frac{7}{80}$日，每爻当一日。将卦爻与日做这样的对应后，就可利用易来占卜。焦赣的方法略有不同，他以六十卦每卦直六日，共三百六十天，再令震离兑坎四正卦各寄直一日，主二分二至四天。京房发觉他的老师在爻日的对应上差了一天多，因此设法改进。他的办法是让四正卦各占分至日的八十分之七十三日，又将直于分至之首的直日卦颐（冬至）、晋（春分）、井（夏）、大畜（秋分）四卦各占五日十四分，其余各卦皆主六日七分。这样爻与日对等了，但卦所直之日数则不能均平，因此京房的改革既不简洁也没有什么依据，并不可取，后世流传的还是六日七分法。

不过京房并没有就此停步，也许由于他发现焦孟象数占验之不足，一直致力于改进和完善这一系统，终于发展和创建了一套预测灾异的易学系统，后人称之为京氏易。京氏易无论在规模上或是在结构上都可谓洋洋大观，远远超过焦孟，实为占验象数易的代表。



上述成就是京房在平生的前阶段完成的，与此同时，他认真研究了声律，将当时的五音十二律发展为六十律，并将其引进象数易系统。他接受了焦赣的“以风雨寒温为候”的参数系，改用太阴、太阳、少阴、少阳等阴阳符号来表示，从而大大推广了这套“参数”解释的范围，建立了特有的以日占为主的京房占星术。

京房生平中后一阶段始于公元前 46 年，即元帝初元三年。该年汉元帝令各地“举明阴阳灾异者”，他正是被征选的对象。初元四年，京房以孝廉举为郎，作为皇帝的顾问侍从厕身于宫廷。他在初元四年以后的主要活动和经历，在《汉书·睦两夏侯京翼李传》中有较为详细的记载，他参与政治的动机可能还是与师门之争有关，其手段也是通过占阴阳之变干预政治人事，京房传中记载着他以占阴阳灾变参

---

① 《焦氏易林·序》。

② 《汉书·京房传》。



与政治的一些细节。

他的占验方法，可从建昭二年（前 37）二月朔上卦事中略见一斑。他说："乃辛巳，蒙气复乘卦，太阳浸色，此上大夫覆阳而上意疑也。己卯、庚辰之间，必有欲隔绝臣令不得乘传奏事者。"对这段话的解释，张宴说："晋卦、解卦也，太阳浸色谓大壮也。"按京房将四正卦（坎震离兑）外的六十卦分为五等，即诸侯、大夫、九卿、三公、辟。坤、复、临、泰、大壮、大、乾、姤、遯、否、观、剥这十二卦是辟卦，亦为消息卦，也称月卦。即这十二卦轮番为王，各主一月。辟义为君，故称辟卦。前六卦阳长为消，后六卦阴长为息，故亦称消息卦。京房将消卦称为太阳，息卦称为太阴，其余四十八卦各为诸侯、大夫、九卿、三公，统称杂卦。杂封又分少阴、少阳两类。如按《焦林直日》则冬至后的中孚卦为三公，复为天子（辟卦），屯为诸侯，谦为大夫，睽为九卿，以后的升卦又复为三公，如此周而复始。上引京房上卦事是二月朔的事，按《焦林直日》所涉及的卦应是晋卦、解卦、大壮卦等。大壮卦是二月月卦，为君为辟卦，乾九四用事（按京氏易大壮卦为坤宫四世卦），故说是太阳。晋、解二卦各为卿和三公，为杂卦，京房常用少阴、少阳等表示。他又将蒙气表示杂卦干扰消息卦的具体表现情况，而致太阳浸色。就是说有臣下蒙蔽君王，使君王怀疑。他推断再隔 60 日，即由辛巳到己卯、庚辰间，就会"必有欲隔绝臣令不得乘传奏事者"的事件发生。

原来京房在宫廷里与石显和五鹿充宗有隙，因他善占验，深得元帝信任，又常在元帝左右。石显和五鹿充宗就设法使他离开元帝，去做魏郡太守。京房终于失败了，他于建昭二年（前 37）秋被杀，死时仅 41 岁。

二、京房易学简说



京房的易学是占验之学，与当时正统的儒学易学是有差异的。占验灾异的易学（后世称象数易）发展到后来，也用来解经，西汉后期和东汉时的易学家们，大多数都用象数易来解经。所以后来儒家易又把象数易采纳吸收而融汇为汉易学。汉易也是后人用的名称，表示了汉代易学的这个特色。京房在这个领域中占了十分重要的地位。

京房创立和发展的象数易，不仅影响易学的发展，也影响到古代学术的许多方面，特别是与天文、医学、地理等有关的自然科学方面。而其流风所及，使后世占卜、星命、术数、灾异之学都与京房的这套易学体系牵连得很深。

京房的易学体系，是在孟喜、焦赣的基础上发展起来的，并在三个方面做了修改。一是对焦孟之学本身进行了修改，使之更好地适应占验灾变。二是将声律与占验联系起来，声律数学的推演使京房偏爱形式化的东西，他制定了一整套占验公

式，建立了一个形式化系统。三是建立了一套与气候变化相联系的日占术。因此，京房学术思想的一个特点就是使占验自然灾异之学系统化、形式化。在这个意义上，他是名副其实的灾异学家。

京房的学术思想，还深受儒学的影响，他为了证明自己是正统的儒门，也就尽量把董仲舒的那套天人感应纳入自己的系统，并贯穿于整个体系之中。他的学术宗旨尽管是预报自然灾异，但总不忘将自然现象与人事关系做出对应，因而在一定程度上陷入了天人感应的泥淖。《汉书》评京房说："京房区区，不量浅深。"这是相当公正的。

京房易的主要内容有以下几方面：

(1)他首先将序卦传的六十四卦做了重新排列，他的方法的确是相当谐调的。即将自身重复的乾坤震巽坎离艮兑八个基卦，作为八纯卦，按纯卦立八宫，每纯卦为一个宫的本位卦。如乾卦为乾宫的本位卦，坤卦为坤宫的本位卦等。然后由各宫本位卦自初爻变起得一世到五世卦。上爻不变，则六变变四爻，称为游魂卦；七变为下卦三爻全变，称为归魂卦。本位卦，五个世卦，再加上游、归二卦共八个卦组成一宫，八宫共六十四卦。

(2)这样的排列引入了"世应"概念。如姤卦为乾宫一世卦，姤卦初爻就是"世爻"，一与四对应，姤卦九四为"应爻"，世应确定就可进行占卜。

(3)纳甲纳支，京房为了将每个卦和爻都赋予干支名称，就确定了一套办法。纳甲是将卦爻赋予干名，如乾纳甲壬，坤纳乙癸，震纳庚，巽纳辛，坎纳戊，离纳己，艮纳丙，兑纳丁等。又据天左旋、地右转的理论纳支，如震纳子午，巽纳丑未等，这样每卦每爻都有一个干支名称。有了干支名，就与五行联系上了。



(4)纳六亲，根据干支五行生克，如上生下为宝，下生上为义，上克下为制，下克上为困，上下相比为专。他进一步赋予卦爻以人事关系的内容，而有本位卦为自身，生我之爻为义爻，于六亲为父母，我生之爻为宝爻，于六亲为子孙，克我之爻为系爻，于六亲为"官鬼"，我克之爻为制爻，于六亲为"妻财"，相同之爻为专爻，于六亲为兄弟。纳六亲是后世命相学之基础，但易学家也用于注经。如干宝注"比六三"，象传："比之匪人，不亦伤乎！"干宝注："六三乙卯，坤之鬼吏，在比之家，有土之君也。周为木德，卯为木辰，同姓之国也。爻失其位，辰体相贼。"

(5)论消息，即前述之十二月卦或十二辟卦。

(6)论飞伏。因考虑到论六亲时，有时占卜之事(如占财)所遇到的卦没有对应的爻(如财爻)，那么就要找与之有关的卦爻来论事，这时就要论飞伏，看某卦是何卦之伏神、某卦是何卦之飞神，等等。

(7)风雨寒温。《汉书·天文志》曰："月为风雨，日为寒温。"王充《论衡》曰：



"易,京氏布六十四卦于一岁中,六日七分,一卦用事。卦有阴阳,气有升降,阳升则温,阴升则寒,寒温随卦而至。"京房发明之辟卦杂卦虽是延续焦孟之学,但进一步使之符号化与规整化,还是本于孟喜的"易本于气,而后以人事明之。风雨寒温气也,道人佞以人事阴之。"此外,京房在象数易方面还有许多阐发和创造,因涉及过多的易学细节,在此就不详述了。

三、京房在声律方面的工作

我国古代学术认为,大自然的发展是律历同源的,我国古代杰出的天文学家,大都兼通吕律。《续汉书·律历志》载京房说:"受学于小黄令焦延寿六十律相生之法。以上生下,皆三生二;以下生上,皆三生四。阳下生阴,阴上生阳;终于中吕,而十二律毕矣。中吕上生执始,执始下生去灭;上下相生,终于南事,六十律毕矣。夫十二律之变至于六十,犹八卦之变至于六十四也。……以六十日分期之日,黄钟自冬至始,及冬至而复,阴阳寒燠风雨之占生焉。"京房依照三分损益法,将原有之十二律继续往下推,由中吕上生执始,执始下生去灭,去灭上生时息,又下生结躬等,而至南事共六十律。京房之所以如此推演,他以为应像由八卦推得六十四卦那样,从十二律推至六十律。再如同用卦爻配日那样,也将声律来配一年的日子。但声律配日不是平均分配,而是黄钟等七律各配一日,共七日;形始、谦待等四律各配五日,共二十日;色育执始等二十一律各配六日,共一百二十六日;依行、南中等十一律各配七日,共七十七日;大吕、分否等十七律各配八日,共一百三十六日。以上六十律共配三百六十日,自黄钟开始,再至黄钟,提出了一种声律与日周期相应的原则。

《续汉书·律历志》引京房推演六十律说:"建日冬至之声,以黄钟为宫、太簇为商、姑洗为角、林钟为征、南吕为羽、应钟为变宫、蕤宾为变征,此声气之元,五音之正也,故各统一日。其余依次运行,当日者各自为宫,而商征以类从焉。"按三分损益法,《管子·地员篇》云:"凡将其五音,凡首,先主一而三之,四开以合九九,以是生黄钟小素之首以成宫。三分以益之以一,以百有八为征。不无有三分而去其乘,适足以是生商。有三分而复于其所,以是生羽。有三分去其乘,适足以生角。"这段意思就是:宫音数为 $1\times3^4=9\times9=81$。征音由宫音数三分益一而得,即 $81\times\frac{4}{3}=108$。商音由征音三分损一而得,即 $108\times\frac{2}{3}=72$。羽音则由商音"三分而复于其所",即 $72\times\frac{4}{3}=96$。角音则由羽音"有三分去其乘"而得,即 $96\times\frac{2}{3}=64$。冬至日黄钟为宫,则林钟为征 $\left(81\times\frac{2}{3}=54\right.$,倍之而得 $\left.108\right)$;太簇为商 $\left(108\times\frac{2}{3}=72\right)$;南



吕为羽$\left(72\times\frac{2}{3}=48\text{，倍之得 }96\right)$；姑洗为角，姑洗之数为$96\times\frac{2}{3}=64$。因为这是冬至日，系声气之元，为定五音之准则，定规这七律各统一日。其余则依次运行，当日者各自为宫，如林钟为宫，则太簇为征，南吕为商，姑洗为羽，应钟为角，蕤宾为变宫，大吕为变征等。但是蕤宾为宫，应是黄钟为变征，可实际却非如此，大吕为宫，也不一定取黄钟为变宫、林钟为变征，等等。因为京房按三分损益原则，以隔八相生之法，自黄钟开始上下相生至于中吕，是将子丑寅卯等十二支辰与十二律相配（见图 2－2），到了已位中吕后，又应上生黄钟（子位），可是不能达到黄钟律九寸，只得八寸七分有奇，不成黄钟正声。京房就由中吕生执始等，推演四十八律。当推到依行在辰上时，下生仓育应到亥位，实际上仓育已不能准确地列于亥位，而应列于子位，因由仓育生谦待，谦待实际上已到未位，则仓育"应编于黄钟之次"（子位）。这里事实上不再是隔八相生，而是隔九相生。尽管推演五十三次得五十四律仓育已与黄钟非常接近，但京房为了推算五十三律的谐振律，又推出谦待等六律。李淳风、刘焯都认为"京房不悟，谬为六十。"其实京房是为了推占灾变而谬为六十的。

这样一来，与十二支辰对应的各律不再是均齐的，黄钟、林钟、太簇、南吕、姑洗每律统五律（图 2－2 中我们将仓育标于子位下，实际应在亥位下），即所谓一子统五子，一未统五未，一寅统五寅，一酉统五酉，一辰统五辰，各统四十八律中的五律。蕤宾、应钟每律统四律，一午统四午，一亥统四亥。大吕、夹钟、中吕、夷则、天射每律统三律，即一丑统三丑，一卯统三卯，等等。由此加上已规定的黄钟等七律为声气之元各统一日的原则，而定出各律所管日数。京房做了这项工作之后，使声律与八卦、干支、日时等建立了一种关系，他想从这套关系探索出一种推演灾异的方法，也想从这种关系中找出灾异变化的规律。古人认为"天效以景，地效以响"，即认为在天测日影，在地测声律，可以了解天度与气数的变化，京房对此做了重要发展，他认为他的工作，可以"考声征气，辨识时序，万类所宜，各顺其节"[①]。可见京房推演六十律，将声律与天体运动、万物生化联系起来加以研究，是基于他对自然界物质运动统一性的深刻认识。他对太子太傅玄成与谏议大夫章讲过："竹声不可调度，故作准以定数，准之状如瑟，而长丈十三弦，隐间九尺，以黄钟律九寸……"[②]讲他研制一种弦乐器来代替竹管吹律以定声，名之曰准。这在当时无疑是一种创新，也说明京房为推演六十律，做了严格的测定工作。1978 年湖北省随县出土的曾侯乙编钟六十四口，其发音即可归纳为六十律制，可见六十律在我国渊源很古，非京房



① 《隋书 · 律历志》。
② 《续汉书 · 律历志》。

为推验灾异而凑。京房的律制，有可能是在曾侯乙编钟之类的音律实践基础上，加以理论化系统化而成，它提供了一种可以变换音律的微小音差，并嵌套着许多律，其科学价值，有待开发。

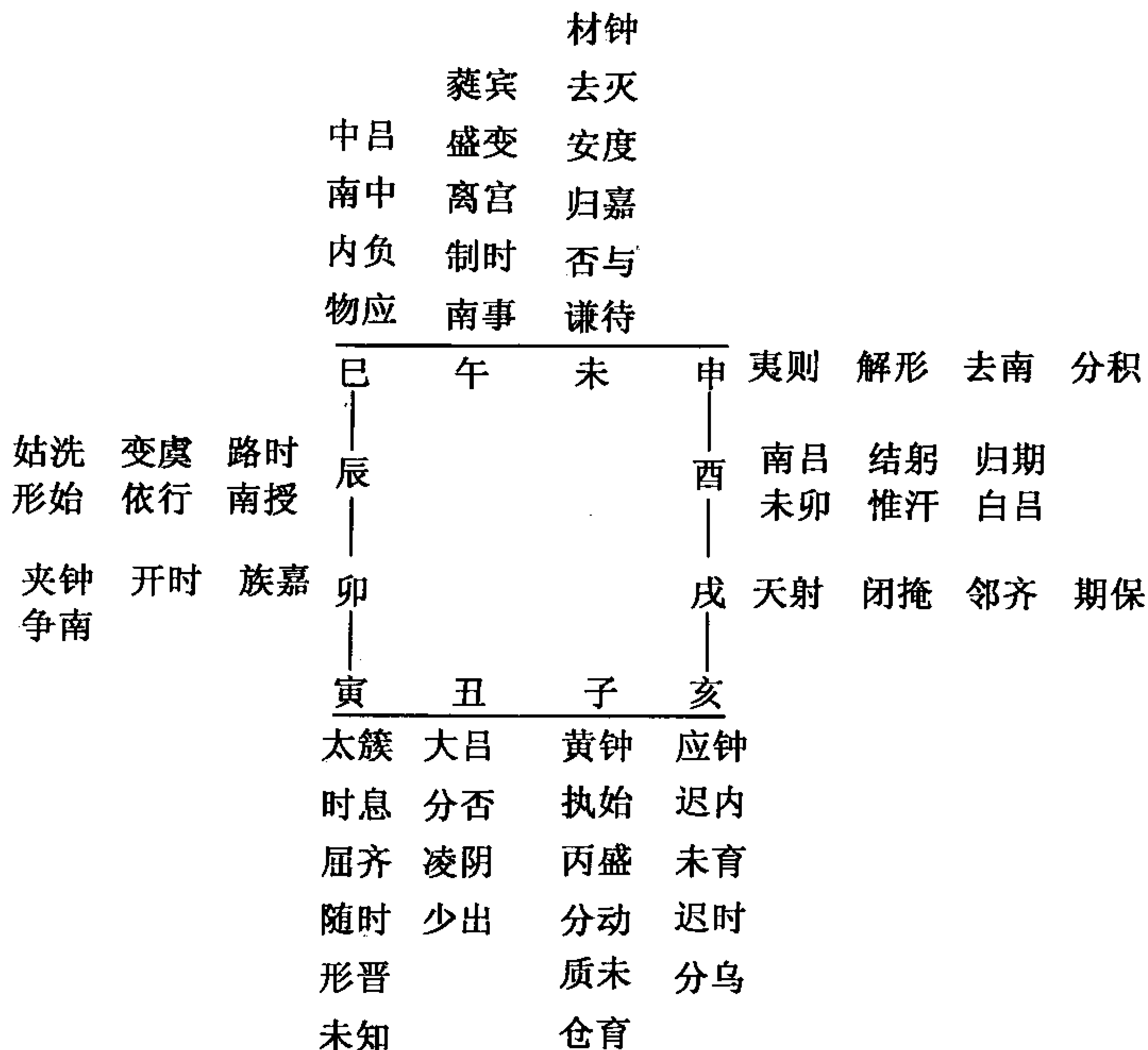


图 2—2　京房六十律与十二支对应图解

京房以六十律制与象数易相结合，建立了一套推验灾异的形式化符号系统，这是他学术思想和学术实践的一大特色。

四、京房的日占

《大唐开元占经》和《汉书·五行志》中记录的京房日占共有 220 多条，其中有关日食的 143 条，有关太阳黑子的 22 条，有关日珥日冕的 36 条。从《大唐开元占经》和其他有关星占记录中可以看到，京房的星占主要集中在太阳方面，旁及月占和天占。但其月占、天占的内容又似乎主要涉及大气现象，如月晕、天裂等。因而不可不注意京房在日占时，可能会将日面现象和大气现象有意无意地混淆起来。其余各种星占，如行星、彗星、流星、恒星等星占，京房几乎毫不涉及。因此他的日占在诸家占中显得分量较重，内容也很丰富。

(1)关于太阳黑子的观测。目前公认最早的太阳黑子记录是西汉河平元年，即公元前 28 年的记录，这是京房死后 9 年的事。或许是这条记录比较明白清楚，因而才被认为是最早的太阳黑子记录，不过京房在这以前就已经做了关于太阳黑子

的多方面观测。

京房日占中有："察天不顺，厥异日赤，其中有黑。"又云："日有黑光，不出六十日有大水。"京房早就观测到太阳上有黑子，尤其在日赤时由于总是伴随着较大的蒙气，看到太阳上有黑子并不困难。后一条更加明显地将日中有黑光与大水联系起来，这说明京房认为自然灾害与太阳黑子有某种规律的联系，在两千多年前就已从事日地关系的研究了。指出这一点不是无关紧要的。

《汉书·五行志》载京房说："察天不顺，兹谓逆日，日有黑子。"这里用了黑子一词来表明他见到的日面现象。《汉书》引《京氏易传》说："日黑居仄，大如弹丸。"明确地记录了黑子的大小、形状和位置。《开元占经》卷六《日占》二中载京房曰："日中有黑云，若赤若青若黄，乍五乍十乍三十。"众所周知，黑子从开始出现到最后消失要经过一系列发展过程，它最初出现是一个小的圆形黑点，逐步发展成两个大黑子，其间又充满很多小黑子，前导黑子逐渐增大，后随黑子离它越来越远，而后随黑子又逐渐分裂成更多的小黑子，这种现象称为黑子分裂现象。由此可见京房不但观测到黑子，而且发现了黑子群的出现及其变化过程。

京房观测日食有一套方法，京房日食占中说："置盆水庭中，平旦至幕视，则能见。"他还提到可以于"薄"时观测日面现象，如《开元占经》引京房灾异云："日月薄赤见日中乌。"说明他用大气消光的办法观测黑子。所谓薄，京房定义为"日月赤黄为薄，或曰不交而食曰薄。"就是说在较大蒙气时，太阳看起来是赤色或黄色，可用肉眼直接观测到日面现象。《开元占经》日占引京房说："日常斗，以日出至食时以斗，斗后乌见，六十日王者亡地。若乌不见不为斗。"《史记·天官书》正义云："斗为光芒相及。"此处仍指若即若离的双极黑子，两者中间有小黑子使得看起来"光芒相及"，好似两只乌鸦相斗。为了区别日面现象和大气抖动闪烁而造成的错觉，他提出斗后有乌见才是黑子，若无乌见就不为斗，必是大气闪烁影响无疑了。



我们可以推断，京房为了预报灾异，曾发展了日占法，至少采用了盆水观日法、日月相薄观日法和晨暮蒙气观日法等三种方法，对日面进行过认真的观测研究。京房对黑子的理解当然不可能合乎今天的科学，但他却揭示了那个时代灾异频仍与太阳黑子活动频繁的关系，从而有意无意地探讨了太阳活动与地球气候变化的相互关系。

(2)对日珥、日冕的认识。战国时甘德和石申夫就注意到日食时在日面边缘有"群乌"或"白兔"，这可能就是日珥和日冕，可见战国时代已开始利用日食对太阳进行细微的观察了。《开元占经》中记载了许多京房对日珥的描述，如"日晕而珥，宫中多事"，"日晕戴抱珥"，又如"日晕有四珥，各四背珥"，日食时"白虹见于白傍"，等等。京房对日珥现象的描述，与我们现今所见之活动日珥相类似。现在的活动日珥，在日面边缘的任何部分都可发现，其活动形式多种多样，有时似乎有气流从某



点沿着确定的曲线轨道流到另一点；有时日珥内有物质流向太阳表面的一个或几个确定的点，有时物质从太阳表面一个或几个确定的点流出；有时候物质从太阳表面的某一点沿着曲率很大的曲线轨道上升，到某一高度停住，过一段时间再沿着原来的轨道返回。京房总是把日珥与日晕同时提出，这可以理解为他看到的日珥是在日晕之中，被日晕环包着。日晕是太阳圆面周围的大气现象，范围较大，而日珥是日面现象，范围较小，所以“日晕戴抱珥”，这与今天的观测也很相符。在他见到的日珥中，有四个日珥同时出现，并且相背，似乎呈圆弧状。而今所见之爆发日珥有一种就呈圆弧形，爆发时整个圆弧膨胀，弧峰上升，物质沿着弧的两翼向下流动，京房观测到的四背珥与此极为相似。他还注意到日珥的颜色，讲白虹见于日傍，与现今所见日珥颜色正相吻合。由此可见，《开元占经》引京房对日珥的说法确与今之所见相同，可以基本肯定是今天太阳物理学家们所说的日珥。

日冕是太阳大气最外面一层，呈射线状结构，看上去很像有气体向外冲。在京房的日食占中，有“有黑云冲出”、“有白云冲出”、“有青云冲出”等记载，其所说有云冲出的珥，很可能就是日冕，但由于日冕现象在古代很不容易观测到，青白黑色诸云是否确是观测事实有待检验。

(3)对日食的观测。京房十分重视对日食的观测，首先十分重视日食发生的时间。《京氏易传》说：“日食皆于晦朔，有不于晦朔者名曰薄。”他肯定只有晦朔时才会发生日食(日只逢朔食，发生于晦日，因当时历稍后天所致)。他很注意日食的伴随现象，说：“日蚀后氛雾不解，地必震，不过旬中。”他还编纂了日食在各月发生的伴随现象表和 60 年、60 日中发生日食伴随现象表。一年中各月日食发生的伴随现象，有可能是实际观察配合五行理论编制出来的。例如他认为二月发生日食会出现大旱；三月发生日食，近则三月、远则一年会“有欲反者”，八月发生日食会发生大水等等。将日食伴随现象划分为自然灾害和政治变动，表明那个时代这两方面情况都很严重，京房希望能找到日食与灾异、人事的某种相互关系，由此用日食预报政治。至于 60 年日食伴随现象，很可能是京房整理了某种历史材料，再结合他的理论编造出来的。如说乙丑年发生日食，五谷被虫伤；丙寅日食，小旱在南方，等等，可能依据前人的记录。有一些年份空白，大约是因尚未找到有关史料暂时空着，以便后来补充。60 年日食表，大部分记载伴随自然现象，而各月日食表，很多记载的是人事及政治变化。这个区别正好说明 60 年的表格是依据了历史材料，不过这两种表后来都被星占家引用。例如《汉书·五行志》载永始二年(前 15)二月乙酉晦，日有食之。谷永(京房学生)以京房易占对曰：“今年二月日食，赋敛不得度，民愁怨之所致也。所以使四方皆见、京师阴蔽者，若曰人君好治宫室，大营坟墓，赋敛滋重，而百姓屈竭，祸在外也。”这说明京房日占在汉代是有一定权威性的。



除了对日食发生时间加以考虑外，京房也对日食状态进行分类，他在始食方位、始食时刻、食分多少及日食时的颜色等方面都有占法。如京氏曰："日始出而食，是谓弃光，齐楚亡"，"凡日食从上，失臣"，"日食从中，中青赤外黄，国亡，又曰中人为乱"，"日食不尽，相有出走者，期八十日"；又如"日食尽，臣欲杀主"，"日食尽，无光露者，亡其邑"。可见京房对日食种类做了系统的考察，其目的乃是为当时灾异寻找天文依据，在它们之间建立一种相关性联系。由于时代的限制，京房不可能对日食的天文原理有深刻的了解，也不可能对灾异现象做出科学的解释，更不理解政治变动的真正原因，因而他的努力注定要失败的。

五、简评

京房一生并不长，他在星占、声律、易学三个方面都做了继承和开创性的工作，建立了自己的学派，这三方面在古代学术界都被认为是宏伟的，他无疑是一个卓有成就的学者。但京房的这些工作，都与封建迷信有千丝万缕的联系，带有神秘性，因而后来都沦为星相占卜之学，京房也成了占卜星命之学的祖师。《汉书》评他"京房区区"大约是京房始料不及的。他企图将天象、自然灾异、社会情况联系起来加以考察，建立一套符号系统，作为预报灾异的模式，这些思想带有很大的主观性，违反了学术探讨的本意。不过，他建立的体系，虽如沙滩之塔，只有在占卜命相家那里才被奉为经典，但历来一直受到学者们的重视和研究。

京房是著名的灾异预言家、星占家，也是著名的易学家、声律学家。从今天的科学角度来考察，他最伟大的贡献，是建立了对太阳日面进行观测的一套方法和内容，为后代留下了将太阳活动与地球灾异现象联系起来考察的思想，这使他成为两千年前的太阳物理专家和日地关系专家。他对日面所做的开创性研究及留下的大量观测记录，都是十分珍贵的科学文献，值得人们研究和重视。



（撰稿人：卢央）

第三节　刘　向

一、简历

刘向（前 77—前 6），字子政，原名更生，刘邦小弟楚元王刘交四世孙。沛郡（今江苏沛县）人。宣帝地节时，12 岁为辇郎，神爵初擢谏大夫。元帝时拜郎中，迁光禄大夫、中垒校尉。享年 72 岁。



刘向博学多才，是我国古代目录学的创始人，也是著名的经学家、文学家和天文学家。著有《别录》、《五经通义》、《列女传》、《新序》、《说苑》等，天文著作有《洪范五行传》、《五纪论》等。

他虽然从少年时就开始进入仕途，但淡于社交，热衷于学术研究。《汉书·楚元王传》载刘向的为人说："向为人简易无威仪，廉靖乐道，不交接世俗，专积思于经术，昼诵书传，夜观星宿，或不寐达旦。"由此可见他终身勤奋好学的精神，同时也可看出他不只是限于整理天文历法文献，而是经常"夜观星宿，或不寐达旦"，是勤于天文观测和研究的天文学家。

在政治上，刘向是忠君爱国的。作为皇室的后裔，他对于巩固刘氏政权具有特殊的感情。他生活在西汉末期，外戚王风宦官弘恭、石显专权日趋严重，刘氏政权已出现将被篡夺的迹象。刘向坚决与外戚宦官作斗争，多次受到迫害，被捕入狱，险遭杀害。

刘向父名刘德，修黄老之学，曾被汉武帝赞之为"千里驹"。任宗正、青州刺史等官，赐爵关内侯。刘德在治淮南狱时曾得道家著作《枕中鸿宝苑秘书》，有言神仙使鬼物为金之术。刘向得读此书，献给皇帝，并说能炼出黄金。宣帝命他试炼，费甚多而方不验，坐铸伪黄金罪而当伏法，得堂兄阳城侯刘安民的援救而免死。宣帝征刘向受《穀梁》、讲《五经》于藏秘书的石渠；成帝时，又诏向领校中《五经》秘书，得以博览群书，终于为他的学术活动奠定了更深厚的基础。

二、《洪范五行传》的主要成就

1.《洪范五行传》概况

据《汉书·楚元王传》记载，《洪范五行传》是刘向领校中《五经》秘书时写成的。"向见《尚书·洪范》，箕子为武王陈五行阴阳休咎之应，向乃集合上古以来历春秋六国至秦汉符瑞灾异之记，推迹行事，连传祸福，著其占验，比类相从，各有条目，凡十一篇，号曰《洪范五行传》。奏之，天子心知向忠精，故为风兄弟起此论也，然终不能夺王氏权。"



从《汉书》这段记载，我们便能看出刘向写《洪范五行传》有其政治目的，他想用历史故事来启发元帝，以便剥夺外戚王风兄弟的权力，达到巩固皇室政权的目的。元帝虽知其意，但未能听取他的意见，刘向死后 13 年，王氏果然篡汉。

从这段记载也可以看出《洪范五行传》的主要内容和格局，它仿照《尚书·洪范》的方式，以阴阳五行的思想为指导，认为历史上的天象、灾异变化与人类社会治乱是有必然联系的，其中尤其是与皇室的休咎祸福有关。一种特殊天象灾变的出现，必然与人类的一次政治事件有关。以古喻今，当前灾异频繁，意在王氏专权。

不言而喻，这套讨论天象灾变与政治关系的思想方法是唯心主义的，但它系统地整理和收集历史上的所有天象记录，记载当时的天文知识和本人的研究成果，却给后人留下宝贵的科学财富。

《洪范五行传》早已失传，现存有清朝人辑录的数种版本。王谟在《汉魏遗书钞》的《洪范五行传序录》中说："班固《前汉书·五行志》原本伏生《尚书大传》，兼采董仲舒、刘向、向子歆及眭孟、夏侯胜、京房、谷永、李寻诸家之说。而刘知几《史通》乃云'班史《五行志》出刘向《洪范》'。赵枢生亦云'刘向《洪范五行传》其书不可见，班书《五行志》乃其遗法'。"可见《洪范五行传》在《汉书·五行志》中所占的重要地位。

王谟在《序录》中又说："今特从本《志》钞出向说百四十一条，益以《类聚》、《初学记》、《书钞》、《御览》凡若干条，分为上、下二卷。"以上五部书所引《洪范五行传》的资料自然比较集中，但由于它曾被广泛地应用过，各家辑本都很难齐全。例如，曾大量引用《洪范五行传》的《开元占经》，就没有受到注意。

《洪范五行传》所涉及的范围比较广泛，内容也很丰富，因此，它的科学成就及其提供给我们的科学信息，都是很重要的。

2. 历代《五行志》、《天文志》的楷模

占星术的理论至甘、石时，就已大致完备。这种理论一般趋于公式化，它告诉人们，每当发现异常天象时，人类社会便将会有何种变乱。但很少涉及具体的史实和时间。司马迁将它们集载在《史记·天官书》，也出不了这个范围。刘向等人所做的工作是以具体的天象灾异与具体的史实相对比，用以说明它们之间的必然联系。这种做法更能引起帝王将相的关心，也引起史学家和天文学家的注意。班固首先将这套方法载入《汉书》，以后历代正史都辑载不绝。中国天文研究的官方化，与历代帝王相信天文与人事相应有关。由于需要不断地观测和研究奇异天象的发生，它也成为中国古代天文学得以高度发展的一个重要因素。由于在正史中有载入奇异天象的传统，使得中国保存有最为丰富而且从不间断的天象记录的资料。这些准确可靠的天象记录，为人们从事各项科学研究提供了取之不尽的无价宝藏，并且将越来越显示出它们的重要价值。从这些意义上说，刘向等人的工作是有重要科学价值的。



3. 中国最早的日食理论

中国最早的解释日食成因的科学理论是刘向提出的。他在成书于公元前20年的《五经通义》中说："日食者，月往蔽之。"已能清楚地指出，日食是由于月亮挡住了太阳射向地球的光。

在此之前，人们已经认识到月球是不发光的天体。刘向在《别录》中曾引载京房《易说》云："月与星至阴也，有形无光，日照之乃有光。喻如镜照日，即有影见。月初，光见西方；望已后，光见东方。皆日所照也。"由于月亮不发光，当月遮掩太阳



时，便发生日食。为京房所提出的星月不发光，“日照之乃有光”的正确见解（此处的星只能是指行星），也是通过刘向的记载才得以流传下来。

以往人们大都认为，中国古代的交食预报及交食周期的知识是从刘歆的三统历开始的。在三统历中，载有135个朔望月23交的周期。但事实上，在《史记·天官书》中，就已载有讨论月食周期的尝试，由于文字错乱，无法深究。人们也曾注意到王充《论衡·说日》中的交食周期，但均未做过详细讨论。

古人发现，同一地点的月食周期和日食周期是不同的，不能混为一谈而笼统地加以讨论。三统历所载135个朔望月23交的周期，主要是对月食而言的，它实际是指出了每隔半个交食年（一交食年为346.6日），可能发生一次月食。

王充说：“四十一月日一食；五六月月亦一食。”又说：“大率四十一二月日一食；百八十日月一食。”王充在这里清楚地记载了日食和月食的两种周期。“五六月月亦一食”与三统历的135个月23交的说法是一致的，都说大约5至6个月可能有一次月食发生。

我国古代刚开始研究日食周期时，大都是从同一观测地点出发，因此，实际所观测到的日食次数要比月食少；又由于太阳光强烈，观测困难，有些本应看到的日食也常常漏掉了。因此，古人所观测到的日食次数比月食少得多。王充所说的“四十一二月日一食”，大致是依据古人观测到的日食记录所得的统计结果。

《论衡》所载的日食周期曾被人们当做中国人所发现的最早的日食周期。其实，这一规律的发现，并不是王充的功绩，而是刘向的研究成果。刘向在给汉成帝的奏书中曾指出：“春秋二百四十二年，日食三十六，襄公尤数，率三岁五月有奇而一食。汉光讫竟宁，孝景帝尤数，率三岁一月而一食。臣向前数言日当食，今连三年比食。自建始以来，二十岁间而八食，卒二岁六月而一发，古今罕有。”①由此可见，王充仅是引述刘向的一个统计结果。因此，中国古代对于日食周期的认识，至少可以上推到西汉时代。刘向依据统计规律所得的三年五个月，三年（缺）一个月、二年六个月的交食周期，差不多正好分别等于3.5、3、2.5个交食年。刘向对交食所做的统计工作，产生了意想不到的重要意义，启发了人们去探求日食周期和研究交食的科学原理，从而促进了交食理论的发展。



4. 五星恒星周期的总结

《开元占经》所引西汉以前各家五星行度，是以刘向《洪范五行传》为基础的，其他各家都不齐全，惟独引载《洪范五行传》最为详细，现摘录如下：

岁星“顺二十八宿，右行，十二岁而一周天。”

---

① 《汉书·楚元王传》。

荧惑“顺行二十八宿，右旋，二岁一周天。”

填星“顺行二十八宿，右旋，岁一宿，二十八岁而一周天。”

太白“顺行二十八宿，右旋，一岁一周天。”

辰星“右行，迅疾，与日月相随，见于四仲，以正四时，岁一周天。”

其中各个行星的恒星周期均以年为单位，金、水两颗内行星都为一年，火星二年，木星十二年，土星二十八年，求其简明整齐，从而也就较为粗略。这并不是说刘向不了解内行星具有复杂的行度和五星都有逆行，仅是采用了战国时代的传统说法而已。

5. 有关古度的记载

《开元占经》引载有《洪范五行传》二十八宿距度，它的数值与汉太初以后所常用的数值大都不同，所用二十八宿星名也不一致，它原来是秦及汉初行用的颛顼历以及战国时行用二十八舍星分度，而在汉太初以后被废弃不用的古度。《洪范五行传》是记载古度的唯一文献，人们通过它，才逐渐了解到在西汉以前，除掉存在人们所熟知的二十八宿距度及星名以外，还存在另一套系统。关于古度，本书《石申夫》、整研组编《中国天文学史》、潘鼐《我国早期的二十八宿观测及其时代考》[①]已有介绍和讨论，这里不再重复。1977 年安徽阜阳出土的汉初夏侯灶墓中的二十八宿圆盘，上面刻有二十八宿星分度，与古度基本一致，由此也可进一步证实古度是确实存在的(图 2—3)。

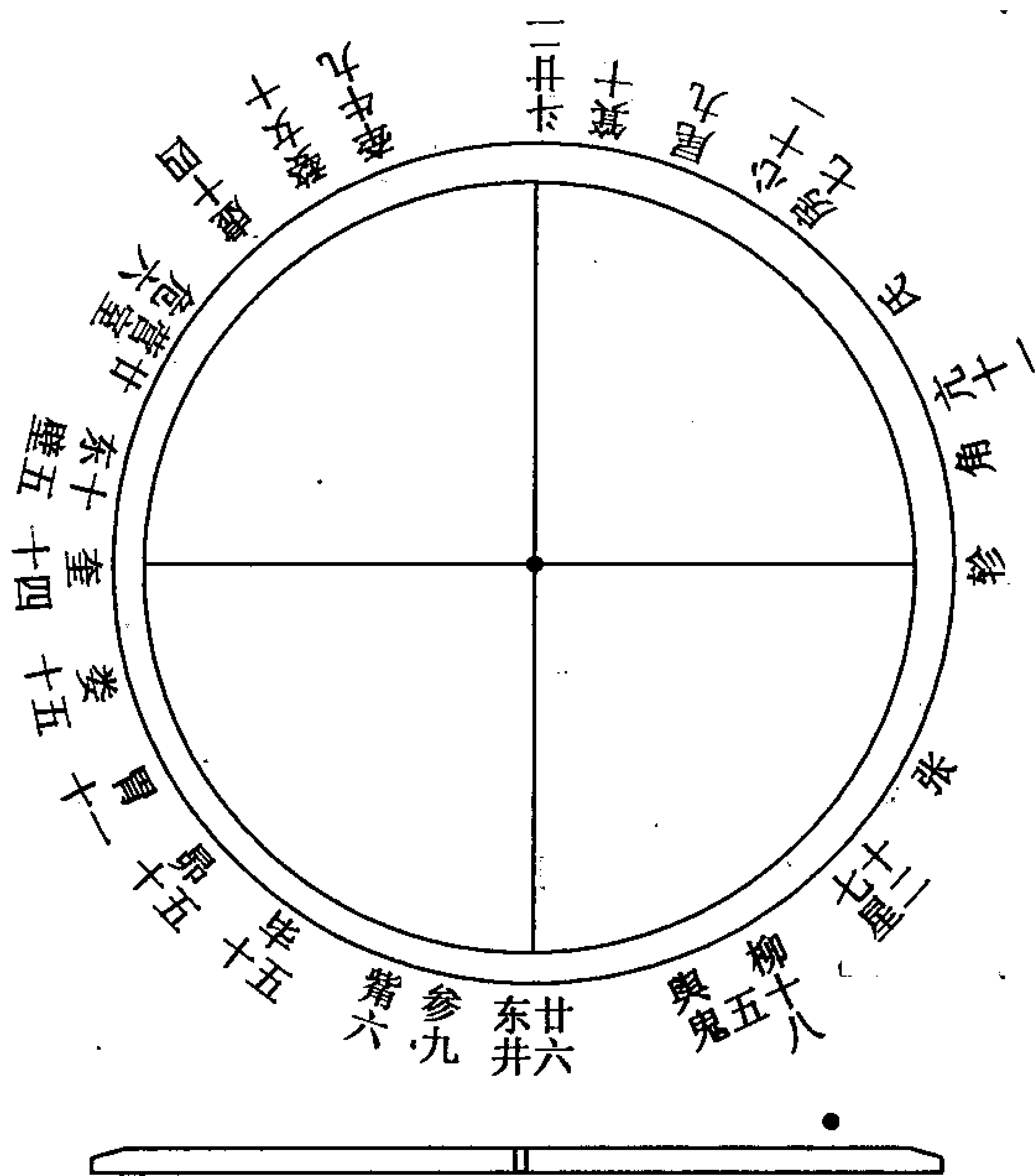


图 2—3 安徽阜阳出土汉初夏侯灶墓古度圆盘

① 见《中华文史论丛》，1979 年，第三辑。



三、《五纪论》的主要成就

1. 名称的由来

《汉书·律历志上》说："至孝成世，刘向总六历，列是非，作《五纪论》。"什么叫"五纪"？据孟康注曰："岁、月、日、星、辰，是谓五纪也。"《汉书·律历志下》又说："六物者，岁、时、日、月、星、辰也。辰者，日月之会而建所指也。"因此，《五纪论》主要整理研究古六历，讨论六历的是非，并且进一步研究与历法有关的年、月、日的安排，研究用以确定季节的斗建所指十二辰方位，也研究五星的运动。由此可知，它是研究西汉以前各种历法的综合性著作，是十分重要的科学文献。可惜没有能够保存下来。尽管如此，我们在其他文献中还能看到部分引述《五纪论》的内容。

2. 对古六历的研究

据《汉书·艺文志》记载，在汉代尚保存有黄帝五家历三十三卷，颛顼历二十一卷，颛顼五星历十四卷，夏殷周鲁历十四卷等。刘向得以出入皇家珍藏典籍的石渠，汇编出我国第一部目录学的书，并列有内容简介。在这样的特殊环境下，刘向是能够阅读到皇家珍藏的全部历法典籍的。因此，在他的《五纪论》中，将包含有我国上古历法中的极其丰富的内容。

在《五纪论》中，可能给出了古六历的各个历元以及基本的推算方法，他并且依次分析了各历得失及与天象相符的情况。不然的话，就无从"列是非"了。在《开元占经》中，给出了各历自上元以来至开元二年的积年数值，这是流传至今的有关古六历基本数据的唯一文献。从资料上来判断，《开元占经》所引《洪范五行传》中的五星运动，其历元都设在"甲子年十一月甲子朔旦冬至夜半甲子时，五星俱起于牛前五度。"这说明在刘向时，已产生了追求理想上元的观念，而《开元占经》所载古六历的巨大积年数值，正与刘向追求理想上元的思想一致。



据《宋书·律历志》载祖冲之《历议》云："按《五纪论》，黄帝历有四法；颛顼、夏周并有二术。"这些历名相同而历元不同的历法，大约是依据各家不同的说法集合起来的。因此，祖冲之叹为"诡异纷然，则孰识其正？！"其实，保留下来的古六历积年，每历只有一个，也就是《开元占经》所载的数值，各历法的具体推算方法详见顾观光《六历通考》和汪曰桢《历代长术辑要·古今推步诸术考》。杜预在《春秋释例》中曾引汉末宋仲子集七历以考春秋的事，其夏、周二历术数皆与《艺文志》所记不同，故更其名为真夏、真周历。这些名同术异的历法，究竟异在何处？没有更具体的资料。但颛顼历有甲寅元和乙卯元两种，经过考证，实为一历，仅是纪年法与后

世不同而引起的差异[1]。由此推理，其他三历所谓的不同方法，可能也是纪年法不同而引起的历元差异。

3.创立月行九道术

战国时的石申夫、甘德，就已经发现月亮的运动有迟速变化，但是尚未找到科学的规律。据《续汉书·律历志中》记载：西汉宣帝“甘露二年大司农中丞耿寿昌奏，以圆仪度日月行，考验天状，日月行至牵牛、东井，日过一度，月行十五度；至娄、角，日行一度，月行十三度。”已经测得迟速变化的实际数值。又据《汉书·艺文志》记载，汉代曾有《耿昌月行帛图》232卷，《耿昌月行度》2卷。耿昌大概就是耿寿昌，可见他当时曾经深入地研究过月亮的行度变化。

耿寿昌的工作，自然会对刘向的月行研究产生积极的影响。王谟辑《洪范五行传下》说：“晦而月见西方谓之朓，朔而月见东方谓之侧匿。向以为朓者疾也”，“侧匿者，不进之意……月行迟。”刘向并不只停留在对月行迟速的定性讨论上，而是创立起一套推算月行迟疾的方法。《宋书·律历志下》说：

> 前世诸儒依图纬云，月行有九道。……刘向论九道云：“青道二出黄道东，白道二出黄道西，黑道二出北，赤道二出南。”又云：“立春、春分，东从青道；立夏、夏至，南从赤道；秋白，冬黑。各随其方。”

在以后的纬书和东汉人的著作中，对于九道术的议论，基本上都出自刘向的观点。

关于月行九道的意义，《续汉书·律历志》所引贾逵论历中说得较为清楚：“月行当有迟疾……乃由月所行道有远近出入所生，率一月移故所疾处三度，九岁九道一复。”也即刘向已经认识到月亮的近地点是在白道上移动的。大体上说，每年大约移动八节中的一个节气，月亮近地点向前移动40度左右，经9年，行经青道二、赤道二、白道二、黑道二、黄道一，共365度，又回复到原处[2]。由此可见，刘向在近点月运动的研究上是做出了划时代的贡献的。近点月的发现，对于准确地推算月行的方位，日月合朔时刻，以及进一步推算日月食，都有着十分重要的意义。



有人以为，刘向的九道术不是月行而是指日行的。其证据是《汉书·律历志》中有“阳以九终故日有九道”之文。我以为，这种说法是不能成立的。关于“日行九道”的意义，我们已在《九道术解》一文中做了解释，它是与九道术毫不相关的。

---

① 陈久金，陈美东：《从元光历谱及马王堆帛书五星占的出土再探颛顼历问题》，《中国天文学史文集》第一集，科学出版社，1978年。

② 《九道术解》，《自然科学史研究》，1982年2月。



刘向的九道是指月行的，还有如下三个直接证据：

①在《汉书·天文志》中，就有“日有中道，月有九行”以及与刘向九道术完全类似的九道术的记载，由此可证西汉时无月行九道的结论是不成立的。

②《续汉书·律历志》在记载安帝延光二年是否改用月行九道的辩论时尚书令陈忠总结说：“以《五纪论》推步行度，当时比诸术为近。”可见利用《五纪论》中的九道术是能够推步月亮行度的。

③《新唐书·历志》载《大衍历议·九道议》曰：“《洪范传》云：‘日有中道，月有九行。’”明确指出月行九道出自刘向的《洪范传》。一行关于月行九道出自《洪范传》的议论应是有来历的，不会是杜撰。可见不仅《五纪论》中有月行九道，在《洪范传》中也载此说。因此，刘向的九道术只能是指月行九道。西汉时肯定有月行九道术，而且是刘向发明的。

我们暂不讨论历史上是否确实存在过日行九道的观点，仅从理论上来说，日行九道的说法是不合理的，也是不能自圆其说的。若以一道表示一个季节来说，一年分为八节，则只需用日行八道，何来九道呢？《宋书·律历志》载戴法兴《历议》说：“日有八行，各成一道，月有一道，离为九行。”这种说法是较为合理的。月行九道的名称由来，是由于差不多正好九年为月的近地点旋转一周，故分离为九道。

4. 刘向的宇宙理论和对天体运动的认识

人们观察天象，发现天上的星星总是在不断地做东升西落的运动，大致每日运行一周。天上绝大多数星星的相对位置都大致不变，然而却有日、月和少数几个星星在众星间自西向东移动，速度不一。西汉以前人们是如何认识这些天体的运动呢？我们除掉能在若干文献中找到一言半语的记载以外，很少见到较系统的叙述，而这一言半语的意义，又很难做出准确的而无争议的解释。因此，西汉以前人们所认识的宇宙和天体的运动概念尚不很清楚。



在《宋书·天文志》中，载有刘向《五纪论》批评夏历宇宙理论的意见。他说：

> 夏历以为：列宿日月皆西移，列宿疾而日次之，月最迟。故日与列宿昏俱入西方，后九十一日，是宿在北方；又九十一日，是宿在东方；九十一日，在南方。此明日行迟于列宿也。月生三日，日入而月见西方；至十五日，日入而月见东方；将晦，日未出，乃见东方。以此明月行之迟于日，而皆西行也。向难之以《洪范传》曰：“晦而月见西方谓之朓，朓疾也；朔而月见东方谓之侧匿，侧匿迟不敢进也。星辰西行，史官谓之逆行。”此三说夏历皆违之，迹其意，好异者之所作也。

这一段清楚地记载着对于天体运动的两种完全不同的解释。夏历的作者

认为，所有的天体都是在昼夜不停地自东向西运动着的。列宿（即指所有的恒星）运动速度最快，太阳次之，月亮最慢。这里没有涉及五星运动的快慢，以理推之，它们的速度介于列宿和月之间，各不相等。天上所有的天体，除掉这种各自以不同的速度自东向西运动以外，就再也没有其他的运动了。这清楚地说明它是属于盖天说观点。日、月、五星与列宿是互不相依地各自独立地运行的。

可是，刘向却不赞成这种观点，他列举晦而月见西方谓之疾，朔而月见东方谓之迟，五星在恒星间西行谓之逆行这三种情况，按夏历的理论，则正好相反，因此，它是与事实不合的。

在这里，刘向很明显地是将天体的周日运动与日月五星的自身运动分开讨论的。依据这种观点，日月附丽于天，自东向西做周日旋转，天球并带动日月五星做周日旋转。除此以外，日月五星也各有自己的运动。这种认识较为严密，也是较为先进的。刘向的这一认识，是属于浑天说的传统观点。由于浑天说本身存在的缺点，他对于夏历的批评意见是缺少力量的。尽管如此，它仍不失为西汉浑天家不可多得的代表著作。

古人的宇宙观念是以地为中心的，认为日月五星都围绕着地旋转。同时古人也发现，在五大行星中可分为两类，一类是可以随意经天而行的，另一类则不能经天而行，也即只能永远在太阳前后运动。例如，水星离开太阳的最大距离不能超过一辰，故称为辰星；金星离开太阳的最大距离也不能超过 50 度。但是，对于金星水星永远不能离开太阳而单独运动的科学原理，则很少有人去进行探讨。不过，刘向却是其中的一个例外。



在《晋书·天文志》中，引载有刘向《五纪论》中关于金星水星运动的理论：“案刘向《五纪论》曰：‘太白、少阴，弱，不得专行，故以巳未为界，不得经天而行。’”在王谟辑《洪范五行传》中的文字略有不同：“太白、少阴之星，以巳未为界，不得经天而行。”不过，其基本精神是一致的。

这是刘向对于内行星为什么不能离开太阳单独运行所做的解释。他用阴阳理论，来解释天体的运动。他认为，由于太白、水星是阴性，不得专行，只能追随于阳性的天体太阳前后运动，不得经天而行。从科学原理上来说，这种解释自然是不正确的，但由此却告诉我们，古人是如何来认识和试图说明这一现象的。

（撰稿人：陈久金）



第四节　扬　雄

一、生平

扬雄(公元前53年—公元18年),字子云,汉蜀郡成都人,生于宣帝甘露元年,少年时即好学勤习,博览群书。因口吃不善言谈,养成了深入思考问题的习惯,对经籍书典钻研很深。青年时喜作辞赋,慕当时著名文人所作赋的弘丽温雅,仿之作辞。又对屈原十分景仰,反《离骚》之意作《反离骚》。他的《甘泉》、《河东》、《蜀都》、《长杨》、《羽猎》诸赋流传至今,是我国古代著名的文学著作。后转而研究哲学,认为经莫大于《易》,仿作《太玄》;传莫大于《论语》,仿作《法言》。这些都是中国古代哲学史中的名著。他提出"玄"这一概念,以之为自然哲学中宇宙万物之根源。在宇宙结构论方面,他先主张盖天说,后被桓谭说服,转而成为浑天说的大家,对我国古代宇宙论的发展起了重要作用,留有《难盖天八事》的名篇。


图2—4　扬雄像

成帝(前32—前7)时,因大司马车骑将军王音赏识扬雄的文赋,向皇帝推荐他,被任为黄门郎,与王莽、刘歆同僚。哀帝(前6—前1)初又与董贤同僚。在成、哀、平帝时,王、董皆位列三公,扬雄由于不愿阿附,埋头学问而未得任何晋升。王莽称帝后仍受排斥,后来只是因资历才转为大夫。只有刘歆、范逡重视他,桓谭对他也特别推崇。

随后以病免职,又召为大夫;他家贫嗜酒,除有人携带酒肴向其求学者外,"人希至其门"。王莽天凤五年(公元18年),71岁卒。

扬雄的政治观点,从他的《解嘲》可见。他对统治阶级以诗书、仕进、刑罚来束缚士子,使之循规蹈矩,迎合上好、无所作为的权术,提出了较为尖锐的批评,有一定的进步意义。但由于受时代及本人思想的局限,在哲学上陷入了形而上学的循环论。他是一位不满现实又不敢斗争的知识分子。

二、对谶纬迷信的批判

扬雄处于西汉末年,谶、纬盛行。谶是巫师方士制作的一种隐语或预言,以之作为吉凶征兆;纬是相对经学而言的,以神学来附会儒家经典的著作,把自然界某

种偶然变化或尚不能解释的现象神秘化，拿来作为社会治乱的预兆。

在这种气氛中，扬雄刻意研究学问，继承儒家的传统，和刘歆的观点相同。他仿《易》作《太玄》，仿《论语》作《法言》，阐述他的哲学观点。其学说的指导思想是力图把儒家经典学说从谶纬迷信中解放出来，对迷信神秘观点进行批判。由于纬书中包含有古代的一些史、地、乐、医和天文史料，因而与之作斗争的哲学家也必然要熟悉了解这些学科的内容，扬雄就是这样一位具有自然科学尤其是天文知识的自然哲学家。

扬雄在《太玄》中提出的“玄”为一抽象概念，它“仰而视之在乎上，俯而窥之在乎下，企而望之在乎前，意而忘之在乎后，欲违则不能，默而得其所者，玄也。”[①]这似乎是一个能统辖一切的自然界的总规律。它能影响虚无，控制神明，通贯古今，区分万物，无径而不在，无处而不存。由它产生的阴阳二气发生作用而形成天地万物。“玄者，幽摛万类而不见形者也。资陶虚无而生乎规，搁神明而定摹，通同古今以开类，摛措阴阳而发气。一判一合，天地备矣。”他认为太阳在星空中的东行（周年视运动）是刚柔阴阳的交替；一年后，它回到原来星空背景中，这就是天道的始与终这一循环。同样，人的生死也是这样一种循环。“天日回行，刚柔接矣。还复其所，终始定矣。一生一死，性命尽矣。”又说“有生者必有死，有始者必有终，自然之道也”[②]。这种解释是既有运动和变化的唯物主义概念，也有循环论的观点。更明确地说，他认为天、地、人是循同一法则而变化的。“仰以观乎象，俯以察乎情，察性知命，原始见终，三仪同科”[③]，“夫玄也者，天道也，地道也，人道也，兼三道而无名之”[④]。他反对宗教迷信，认为“神怪茫茫，若存若亡，圣人曼云”[⑤]，这是儒家始祖孔子不云怪、力、神的观点。他还进一步提出，迷信神怪者以天来占卜人事，而圣人则据人事来考虑研究天的变化。“史以天占人，圣人以人占天”[⑥]。扬雄对谶纬迷信、神仙方术是做了一定抵制的，在反对天命论、君权神授说方面起了一定的作用。



三、对宇宙生成的认识

扬雄认为：厚薄不同的气体，互相摩擦，发散时成为流动的气体，凝聚时则凝结成固体。他把混沌未开称为宇，开天辟地后称为宙，这样就有了往古来今的时间概

① 《太玄·摛》，下引同。
② 《法言·君子》。
③ 《太玄·摛》。
④ 《太玄·玄图》。
⑤ 《法言·重黎》。
⑥ 《法言·五百》。



念。日月升落，寒暑交替，构成昼夜四季。根据这种规律编定历法来定农时。圣人就是按照这些规律来考虑他的安排的。“厚薄相劘，圜则杌棿，方则啬吝，嘘则流体，唫则凝形。是故阖天谓之宇，辟宇谓之宙。日月往来，一寒一暑，律则成物，岁则编时。律历交道，圣人以谋。”①

扬雄还提出要求人们按照自然的本来面貌去认识它，而不要强其所无而妄自增加些什么，也不要猜其太多而予删减。“夫作者贵其有循而体自然也。其所循也大，则其体也壮；其所循也小，则其体也瘠；其所循也直，则其体也浑；其所循也曲，则其体也散。故不攫所有，不疆所无；譬诸身，增则鳌而割则亏。故质幹在乎自然，华藻在乎人事也，其可损益与。”②他认为事物一方面因循继承，而另一方面还有变革创新，两者结合才是事物的规律。“夫物不因不生，不革不成”，“天道有因有循，有革有化。因而循之，与道神之；革而化之，与时宜之。故因而能革，天道乃得；革而能因，天道乃驯。”③有人问他天地万物难道不是天造成的吗？“雕刻众形者，匪天与？”他回答说：万物不是由天塑造雕刻的，如果样样东西都要天去制造出来，天哪有那么多的精力去完成啊！“以其不雕刻也，如物刻而雕之，焉得力而给诸。”④

扬雄的自然哲学宇宙观，具有唯物主义倾向，尤其在反对谶纬迷信，反对君权神授天命论方面有其进步的意义。但他的“玄”的理论，是来于《易》中的阴阳学说及老子的天道观，不可避免地带有很大的局限性和错误。首先，是它具有形而上学的体系，其次带有神秘主义，把“玄”的作用提得太高太神秘。“阳知阳而不知阴，阴知阴而不知阳，知阴知阳，知止知行，知晦知明者，其惟玄乎。”⑤

可以认为“玄”是属于唯心主义体系，因而后来被朱熹等人推崇和利用。

扬雄在《太玄·摛》中提出一切对立之物通过摩擦推移，由运动而随时发展到新阶段，静止的则减损而消亡，这是进步的一面。但他把运动看成是循环的，以后邵雍、朱熹提出的宇宙每129600年一循环的说法，就受到他的影响。

对于事物发展与变化，人事吉凶等，扬雄是离开条件去分析的，他认为这些变化都要经历九个阶段，“思心乎一，反复乎二，成意乎三，条畅乎四，著明乎五，极大乎六，败损乎七，剥落呼八，殄绝乎九”，在这九个发展阶段中自“一至三者，贫贱而心劳；四至六者，富贵而尊高；七至九者，离咎而犯灾。五以下作息，五以上作消。



① 《太玄·摛》。
② 《太玄·莹》。
③ 《太玄·莹》。
④ 《法言·问道》。
⑤ 《太玄·摛》。

数多者，见贵而实索；数少者，见贱而实饶。息与消乱，贵在贱交”。[①]

他的《太玄》系仿《周易》而作，《周易》把事物变化分为六阶段，64卦，384爻辞；太玄则将空间分为3方，每方分为3州，每州为3部，每部为3家，共81家；将时间由方、州、部、家组成81首，每首9赞，共729赞，每2赞1日，共364日半，另加2赞成365日半。他把九作为一切事物发展变化的基础，如九天、九地、九人、九体、九窍、九属，任何事物的发展都必须经历九个阶段。这样就深深地陷入了循环论之中了。

四、对盖天说和浑天说的认识

我国古代宇宙学说的两大主要派别是盖天和浑天。桓谭《新论》中记载，扬雄原是信奉盖天说的，桓谭通过日影移动方向的变化说服了扬雄，转而成为浑天说的积极拥护者。他与桓谭、张衡、蔡邕被后世公认为两汉时期的主要浑天学家。

扬雄批判盖天说缺点的《难盖天八事》引载在《隋书・天文志》。分析“八事”可以看到他对盖浑两家学说的理解、认识和这些学说的优缺点。

盖天、浑天这两家学说，主要是说明天地关系及阐述天体运行规律的。

盖天说起源于周代，起初主张“天圆如张盖，地方如棋局”，由于解释天地间不能尽相吻合，而改为“天象盖笠，地法复盘”。它的主要内容还有：

(1)天地都是中央高耸外端低下，北天极的下点是天地之中，是地面最高之处。

(2)太阳附丽于天的盖笠而平转，它光照的范围为16.7万里(8.35万千米)，这个距离也是人眼视力的范围；由于太阳在运转时与观测地点的距离有变化，远到16.7万里以外时，即看不到日入；进入16.7万里以内时为日出(图2—5)。

(3)太阳离北极的距离随季节而变化。

(4)给出了一些数值：如北极与太阳等均高8万里，周地(观测地点)到极下为10.3万里等。

《周髀算经》中还给出了盖天说主要部分的图解盖图[②]。盖图或称七衡图、七

---

① 《太玄・图》。

② 盖图：由两幅帛图组成，其一绘在黄帛上称黄图，上绘三个同心圆，按比例其半径分别代表11.9万、17.85万及23.8万里，相应地代表夏至、二分及冬至太阳轨道半径在地面上的投影，圆心为北天极在地面上的投影。另一图绘在青帛上称青图，上绘一代表16.7万里半径的圆，为阳光照射距离的极限，也是人眼的视距极限，圆心为周地。使用时，以青图覆于黄图上，置青图圆心在黄道圆心之南(图幅下端)10.3万里处(周地到北极下地的距离)。又进一步，在黄道上的内、中、外三个圆周间的两个间距中，再各三等分，成为共有七个同心圆，六个角距，代表十二个节气和中气。黄图上还绘二十八宿星辰(见图2—7)。



衡六间图，用于表示观测者（设在周地）在不同季节中看到的太阳出入位置、方向、昼夜长度、二十八宿星辰等天象（见图 2—6）。

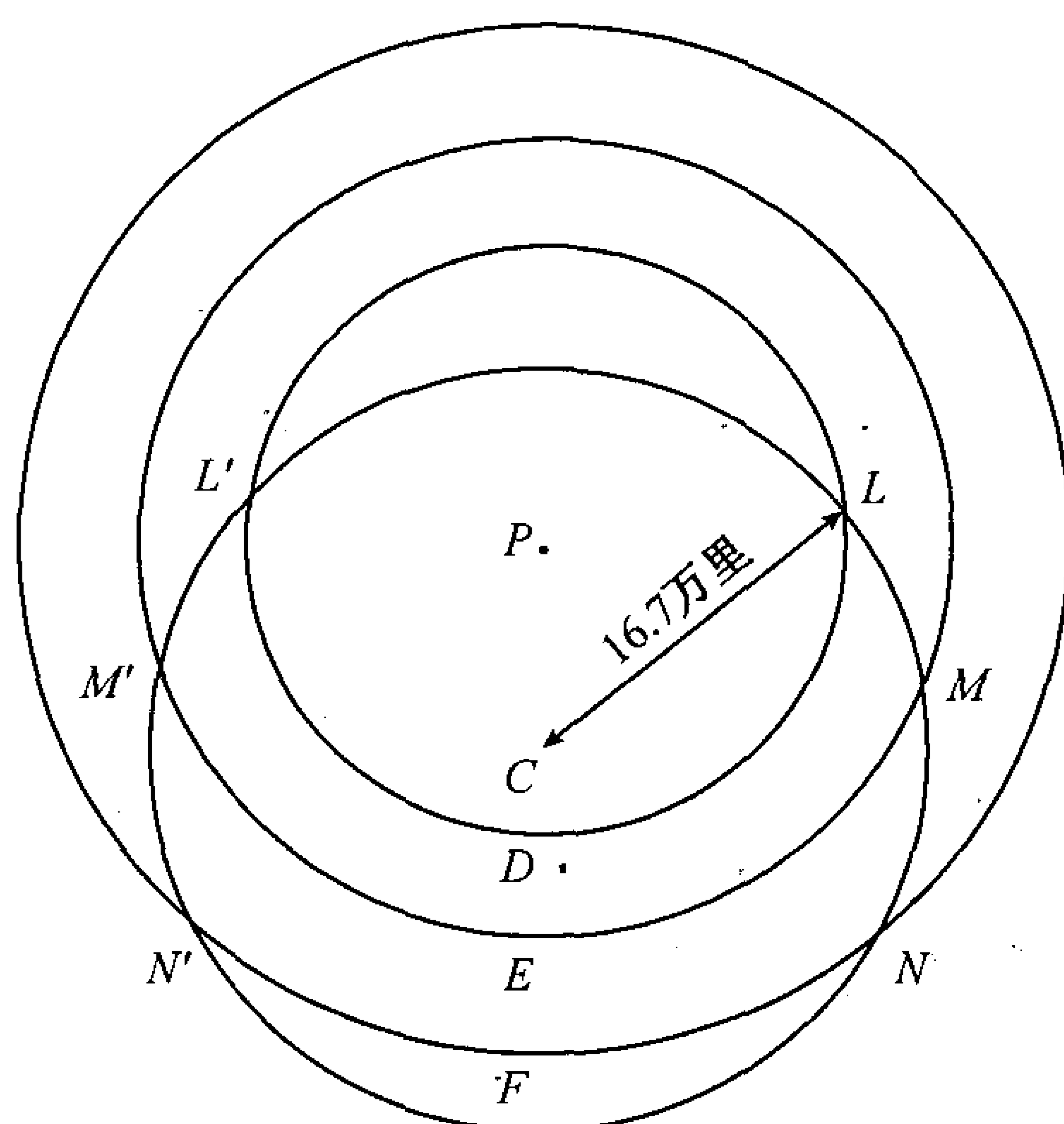


图 2—5　盖天日照图

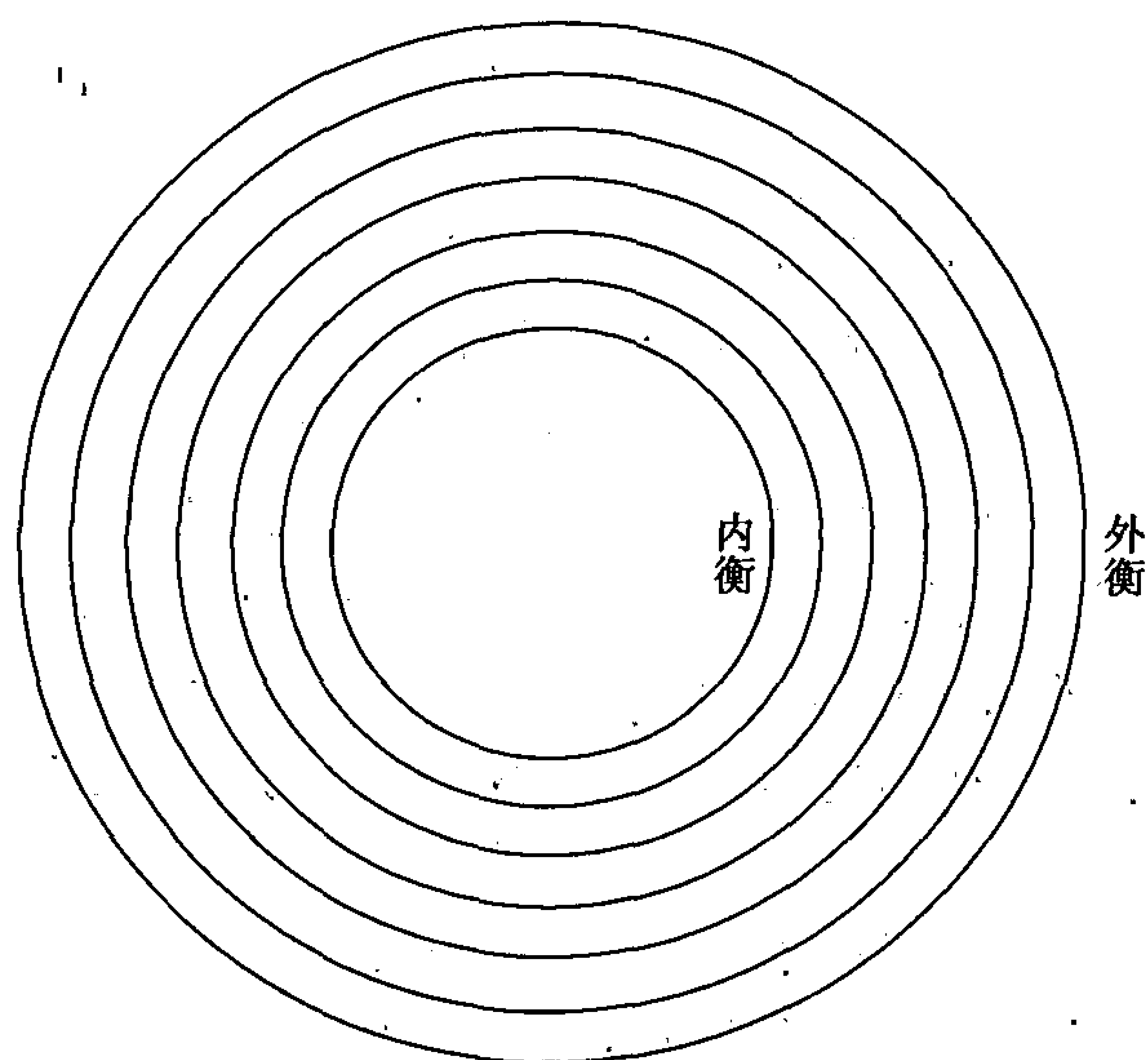


图 2—6　七衡六间图



浑天说则是把天球模拟成圆球形的浑象，表示天球的旋转。浑天说认为附在天穹上的日、月、星辰东升西没绕地运行；还给出天地间及有关天体之间距离的具

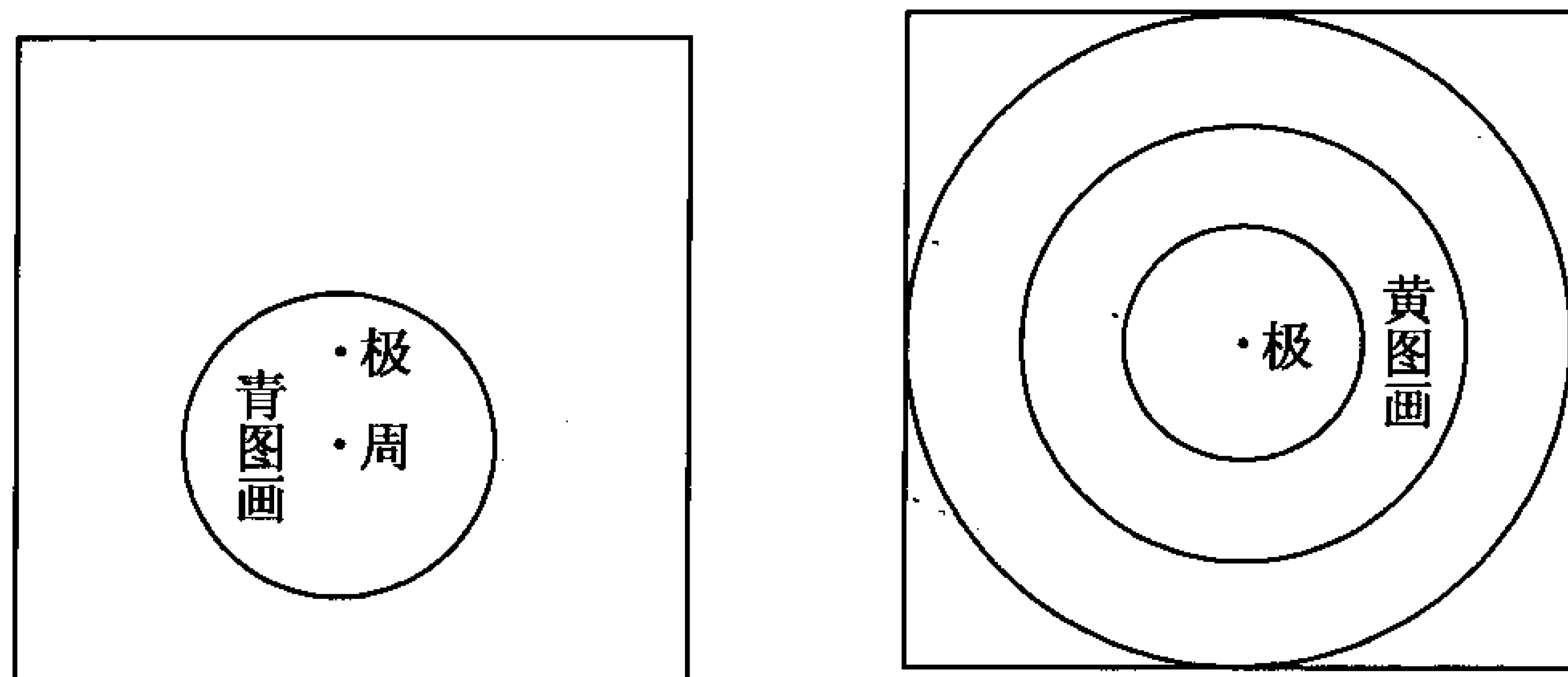


图 2—7　盖图

体数值。

现将扬雄的"八难"分析如下：

(1)"八难"第二条曰："春、秋分之日正出在卯，入在酉，而昼漏五十刻。既天盖转，夜当倍昼，今夜亦五十刻，何也？"

按盖天说中盖图的图解：在春、秋分时，日出在 M，日入在 M'，代表昼长的弧段为 MEM'，代表夜长的弧段为 MM'；如此则夜长几应为昼长的 1 倍。而实际上，春、秋分时昼夜等长。显然，盖天说使用盖图来解释昼、夜长短这个问题上是不符实际情况的。

(2)"八难"第五条曰："周天二十八宿，以盖图视天，星见者当少，不见者当多。今见与不见者等，何？出入无冬夏，而两宿十四星当见[①]，不以日长短故见有多少，何也？"

盖图的黄图上绘以二十八宿星辰，我国古代之二十八宿系按赤道排列，在盖图上则应绘在二分日道上。按盖图所示，从观测地点 C 来看，能见的不到半数星宿，看不见的则超过半数。而实际上，在任何纬度处（地球赤道处例外）天赤道总有一半在地平圈上，即夜间同时都可以看到那半个赤道带上的二十八宿中的十四宿。在任何季节都如此，与昼夜长短无关。这是指夜间同时看到的二十八宿的宿数，至于全夜中所见的二十八宿多寡，则是与冬夏季节不同、昼夜长度变化有关的。

(3)"八难"之七曰："视物近则大、远则小。今日与北斗近我而小、远我而大，何也？"

扬雄认为，太阳和北斗星座本身的大小是固定的。依盖天说，观测者位于南方。则依"视物近则大、远则小"的原理，北斗和太阳运行到正南方时与人最近，故应最大。北斗运行到北方时（下中天）和太阳在日出日落前应最小，但观测到的事实却与此相反，可见盖天说与理不合。而浑天说认为地在天中，运转的天体

① 笔者以为应为"而其半十四宿当见"方通。



不应有大小的变化，这与观测事实大致相合。至于天体运行到接近地平时感觉比在中天时稍大，那只是一种错觉，实际并非如此。此点对盖天说的批判也很有力。

(4)“八难”之六曰：“天至高也，地至卑也。日托天而旋，可谓至高矣。纵人目可夺，水与影不可夺也。今从高山上以水望日，日出水下，影上行，何也？”

根据盖天说，太阳的出入原因，是由于它在距地面8万里高处，绕北极平转，当它进入人眼视距范围(亦即太阳光的照射范围)，盖图上的“L”或“M”或“N”点时为日出，行到L'或M'或N'点时消失在视线范围外为日入。

扬雄举在高山上远望在水天交接处的实际日出情况来说明，它并非如盖天说那样的情况。盖天说关于日出入的解释，确是错误的，扬雄的批判抓住了其根本缺陷。

上述四条盖天说的实质性错误，可以说都被扬雄正确地指出来了。

(5)“八难”之一曰：“日之东行循黄道，昼夜中规。牵牛距北极南百十一度，东井距北极南七十度，并百八十度。周三径一，二十八宿周天当五百四十度。今三百六十度，何也？”

从牛宿到井宿，在天球上几乎在直径的两端。扬雄质问道：它们相差180°，按周三径一的比，那么在圆周上二十八宿应占据540°，为何实际只是360°呢？

《周髀》中所说的周三径一，是圆周长度与直径的比。扬雄责难的问题，反映了他对周三径一的理解不对；另外，这也不是盖天说的内容。

(6)“八难”之三曰：“日入而星见，日出而不见。既斗下见日六月，不见日六月；北斗亦当见六月，不见六月。今夜常见何也？”

根据盖天说，日落后见星，日出不能见，是否见星的一个条件是决定于太阳光线的影响。在北极下地P处，看太阳由春分到夏至再到秋分这半年中，太阳轨道半径小于它的照射范围及人目视力范围(在二分时轨道半径17.85万里比照射范围16.7万里略大些，这是由于极星四游即极星不在极点引起的)，在大约半年中可以看到太阳，另半年则看不到[①]。这是扬雄批判的依据，因而他认为如按盖天说，在半年中于北极下点可见日，半年不见日；那么在那里(北极下点)能看到北极星的时间当然只能在不见日的那半年中了。扬雄从假设人在北极下地，按盖天说理论，做了上述推论后，接着从人在观测地点看到的情况——每夜都能看到北极星，来评论盖天说用于实际情况的不符。

我们知道即使按盖天说的理论，能看到星需满足两个条件，即它必须在16.7

① 《周髀算经》卷上之三：“北辰之下，六月见日，六月不见日”。



万里的视距范围内和同时太阳行到 16.7 万里以外。北极下点处，离北极星 6 万里总在视距范围内；因此只要满足太阳位于 16.7 万里以外这一条件即能看到北极星。如果在观测处（不是北极下点）观测北极星，能看到它的条件，也只是在太阳行到 16.7 万里以外时就行了。

在北极地方，当太阳赤纬为负值的半年中，太阳在地平圈下，这半年一直能看到北极星（不计大气折射造成的使太阳高度提高的影响），另半年则因太阳不落形成白夜而看不到北极星。盖天说中能否见星的理论当然是不科学的，但因巧合，恰能解释这一现象。可是扬雄把这解释推到在北极下点以外的地方看北极星，这并非盖天的原意。可以说此一难，没有针对性。

（7）“八难”之四曰：“以盖图视天河，起斗而东入狼、弧间，曲如轮。今视天河直如绳，何也？”

绘在盖图上的天河，无疑是一种投影画法，即以近代的投影法，在球面上的图形转绘到平面上亦仅能根据要求，在面积、距离、方向三者中保证其中一项不变形。转绘到天球仪（浑象）上的图像才能保持原样。

（8）“八难”最后一条认为：“视盖与车辐间，近杠毂即密，益远益疏。今北极为天杠毂，二十八宿为天橑、辐，以星度度天，南方次地星间当数倍。今交密，何也？”

盖图如同“车轮”，离中心愈远，愈近轮匝的地方，星的间距愈大。扬雄质问说，为什么近天赤道的二十八宿星其间距并不稀疏而却密近呢？这牵涉两个问题，其一是如第四难那样的投影变形问题，另一个问题是，人眼看到的恒星，在全天的分布不是均匀的，近北天极处的密度低于赤道部分。

将天球上所见的天体，转绘到平面上虽有种种变形，不如浑象上的表示法，但平面图使用方便，正如地球仪不能代替地图一样，应该说平面表示的星图有一定的进步意义，或至少不是盖天说的缺点。



由上分析可知扬雄的“八难”，其中二、五、六、七条确是道出了盖天说的根本缺点，一、三条提得不够恰当，四、八条则是对盖天说提出了过高的要求。无论如何，我们可以看到扬雄确是对盖天说的问题做过深入细致的研究，盖天说的根本缺陷确是被他指出了，这种对一种学说的论点不是照单全收而是深思熟虑，提出意见，这正是推动科学向前发展的正确方法。尤其是他本来是盖天说的支持者，通过桓谭的说服转而成为浑天说的积极提倡者的那段事迹，可从中看到扬雄尊重实践，理论结合实际的治学态度和当时学者对两家学说的认识。

《晋书·天文志》中记载了他和桓谭“……奏事待报，坐西廊庑下，以寒故曝背，有倾日光出去不复曝背，君山乃告信盖天者曰天若如推磨右转而日西行者，其光景当照此廊下稍东耳，不当拔出去，拔出去者是应浑天法也，浑为天之真形于是可知矣。”



上午阳光照到坐于西廊庑下桓谭的背上，随着太阳西行，高度增加，日光逐渐向东移出，桓谭认为这完全符合浑天说的理论，太阳从东方升起，上升后向西经过观测者上空然后继续向西，最后落于西方地平线下。而按盖天说“日丽天而平转”[①]，即日出于东，经南，再经西，最终到北，如是周而复始的平转，日的高度不变化，只有方位变化，因此日影不会拔出去；只有按浑天说才会拔出去。

其实，这种论点并不正确，盖天说认为太阳距地面高度总是8万里，这是指高度而不是高度角（仰角），只有在北极下点太阳的高度角才是一直不变的。也就是说即使“日丽天而平转”廊庑下的日影也还是会拔出去的；另外，太阳不论按盖天或浑天规律运转，日影总是要东移的。

由上可知，盖天说在当时已被学者们比较深入地研究过，但由于天文知识水平及其本身的一些缺陷，因而对它不可能了解得十分深刻；这与盖天说的经典著作《周髀》在当时可能才写成也有关系。扬雄曾说过“盖哉盖哉，应难未几也”[②]，认为盖天说对许多问题解决不了。从“难盖天八事”使我们了解到，扬雄的这一结论是经过详细研究后才得到的。浑天说经扬雄“难盖天八事”的支持，得到了发展，推动了中国古代天文学的进展。

扬雄作为一位自然哲学家，对于天文学理论中牵涉的若干问题，做了深入细致的研究，对我国古代天文学的发展起了重要作用，是值得后人纪念的。

（撰稿人：全和钧）

第五节　刘　歆

刘歆（？—23），西汉末年人，经学家、天文学家、音律学家。其父刘向亦为西汉著名学者，历史上对他们的研究颇多，尤其清代以来对刘歆和三统历的研究更为集中。本文拟就他的天文学工作，特别是行星运动知识做一些探讨，其他方面只简略论及。

一、生平

刘歆生年不可考。其父刘向生于公元前77年，歆为其第三子。又刘歆比王莽稍长，莽生于公元前45年，故推测刘歆约生于公元前50年左右。

---

① 这是《周髀》的提法。“周髀家”认为磨左转而日东行，是说明日、月东行的右旋说。桓谭此处提到的“天若如推磨右转而日西行者”应系指“日丽天而平转”。

② 《法言·重黎》。

刘歆出身于宗室贵族之家，为楚元王刘交之后，从小喜读《诗书》《易经》，才思早慧。公元前32年成帝即位，封刘歆为黄门郎。河平三年（前26）刘向领校秘书，刘歆协助父亲工作。当时书籍收藏虽多，但分散在许多地方，没有统一的目录可查，汉成帝命刘向领导此事，分门别类建立起系统的分类目录。工作连续进行了十几年，刘向死后刘歆继续做。大约在公元前7一前5年间，刘歆把已经校定的图书和每书的简介（叙录）编成《七略》一书，完成了我国图书目录学上第一项开创性工作。

刘歆爱好《春秋左氏传》，在校书过程中他同丞相史尹咸、丞相翟方进等共同研究，刘歆给《左传》写了许多解释性文字，使《左传》前后贯通，章句义理完备。刘歆认为左丘明同孔子亲自相处，有共同的观点，而公羊、谷梁二人地位还在孔子七十二弟子之下，没有左氏更接近孔子，所以应以《左传》为准。这一意见遭到了许多五经博士的反对，连他的父亲刘向也反对他。在当时崇尚《谷梁传》的情况下，他很孤立。在公元前5年完成了《七略》以后，刘歆出任河内（今河南省黄河以北地区）太守，又转任五原太守（今包头市西北）和涿郡太守（今河北省涿州市），数年后以病免官居家。

公元前1年，哀帝崩，王莽为大司马，迎立汉平帝。时平帝年仅9岁，太后临朝，实权落在王莽手中。刘歆被推荐为右曹太中大夫，中叠校尉，再次登上政治舞台。次年，即公元1年，将专管天文历标的官改名羲和，刘歆为第一任羲和，并当上京兆尹，即首都的行政长官。公元4年，王莽奏请修明堂、辟雍、灵台，由刘歆兼管。明堂、辟雍在汉代是祭祀的场所，也是一个学术研究机构，灵台即天文台，观星象、气象变化。西汉灵台于公元4年8月兴建，20天即告完成，刘歆即为羲和，也就是西汉灵台的负责人了。



元始五年（公元5年）羲和刘歆及平晏、孔永、孙迁等四人管理明堂、辟雍、灵台，仿照周文王建灵台、周公营洛邑的形式，皆封为列侯。《刘歆传》提到他被封为红休侯，当在此时。这时从全国征召来京的懂逸礼、《古文尚书》、《毛诗》、周官、《尔雅》、天文、图谶、钟律、月令、兵法、史篇文字的能人异士数千人已到达京师，自然科学方面的包括天文、历算、钟律、方术、本草等，他们在京师比较古籍之异同，考论音律，进行各种学术活动。刘歆为他们的领导，总其成果，写成了钟律书和《三统历谱》，班固采其要点写成了《汉书·律历志》。刘歆的其他著作如《尔雅注》三卷，可能也成于此时。

汉平帝在位5年，死时仅14岁。公元6年，孺子婴立，仅2岁，一切由王莽执掌。封刘歆为四少之一的少阿。至公元9年，王莽另立国号曰新，封少阿羲和刘歆为国师，嘉新公。公元10年，鲁匡接替刘歆任羲和官，刘歆集全力辅佐王莽持政，



已不大可能再从事学术研究。地皇四年(23),刘歆与卫将军王涉、大司马董忠合谋欲除王莽,事泄未成,遂自杀而死。

二、编制三统历

刘歆一生从事政治活动和学术活动的时间大体相当。公元前5年之前,主要是参与其父校点经籍,编写《七略》,这是他接触各种典籍、丰富知识、进行经学研究的时期。再次从事学术活动是公元1年至10年之间,他管理明堂、辟雍、灵台,跟全国征召来的学术人才共同研讨,他从事天文学研究多在此时。当然他接触天文学可能还会更早些,如他曾同爱好天文学的扬雄共同校阅经籍,刘向总六历作《五纪论》,讨论各历的得失优劣,刘歆也参与其事,得以研究历法。

《刘歆传》将编《三统历谱》放在封红休侯之后当国师之前,即公元5—9年之间,这一时间使一些研究者感到,编制《三统历谱》的目的可能在于协助王莽篡权。而且,王莽执掌实权以后即起用刘歆,又让他管明堂、辟雍、灵台,造成了他编著钟律书和《三统历谱》的条件和机会,因而这种看法也是很自然的事。

但是,也有另一些资料,对编《三统历谱》的目的可做其他解释。例如,古籍中没有明文说王莽命刘歆研制新历,王莽篡汉以后,改国号曰新,宣布"改其正朔,易服色,变牺牲,殊徽帜,异日制,以初始元年十二月朔癸酉为建国元年正月之朔,以鸡鸣为时……"等,但未记行三统历之语。而《汉书·律历志》却说"至孝成世,刘向总六历,列是非。作《五纪论》。向子歆究其微眇,作《三统历》及《谱》以说春秋,推法密要。"后来,晋杜预在《春秋长历》中亦曰"刘子骏造《三统历》,以修《春秋》"。清钱大昕云"史称刘子骏作《三统历》及《谱》以说《春秋》,故《三统》亦曰《春秋历》"(《三统术衍》卷三)。清姚振宗更明确地说"或以为王莽用三统历,非是。"(《汉书·艺文志拾补》)。



笔者比较倾向于后一种看法。刘歆是以参与其父刘向领导的校典经籍开始其学术活动的,他提倡《左氏春秋》,跟许多五经博士意见相悖。正由于此,他离京出任外官,后因王莽的推荐才又重回京城做官。为了解释《春秋经》中许多年代日名干支问题,必须基于一定的历法推算,他利用主管明堂、辟雍、灵台的有利条件,完成这一意愿当是自然的事。

三统历的若干特点说明了它的编制目的。首先,三统历首创太岁与岁星超辰法,凡144年行145次。这是为了推求历史上的年代学问题的,太岁或岁星纪年法行用于春秋战国时代,到汉初还在行用,太初以后已趋没落,代之以干支纪年法。太岁超辰法创立以后实际上并未得到行用的机会。其次,三统历创立了五星行度和见伏动态周期,详细推求五星与太阳的见伏关系,又提出交食周期,这些对推求

古代天象很有帮助。再有，三统历的世经纪年一部分，更是排出了历史年代上的许多细节，更使人感到它是为推求古代史事而创立的。

事实上，三统历用以解释春秋史事是不大成功的。晋杜预《长历》云："《春秋》日食有甲乙者三十四，而三统历惟得一食，历术比诸家既最疏。又六千余岁辄益一日，凡岁当累日为次，而无故益之，此不可行之甚者。"它不能很好地解释《春秋》，其数据还有许多问题，也不能实际行用。

三、刘歆的历法成就

三统历是被保留至今的第一部完整历法，通过它可以了解西汉末年天文学发展的水平，也可以知道刘歆在历法上的贡献。但是，该历的数据掺杂了许多神秘的因素，繁琐而且天文意义不清，反映了刘歆的思想方法受到当时流行的一些哲学流派的影响。如果我们绕开那些神秘的因素，以现代天文学的知识分析三统历的数据和方法，还是可以得到一些清晰的天文概念。近人朱文鑫比较了前人的研究有下述总结。

(1)三统历首次以无中气之月置闰，"朔不得中，是为闰月"，代替了秦及汉初的岁末置闰，这是历法史上的一大进步，对后世影响极大。

(2)三统历首创交食周期，谓"交食之既者，至此而复既"。135 月有 23 交，135 个朔望月是 3986.63 天，23 交即 11.5 交点年，共 3986.13 天，两者仅差半天，还是比较准确的。在《史记・天官书》中有类似记载，但数字有误，刘歆可能引用前人数据，或在前人基础上改进而成。

(3)三统历创木星超辰之法，是对木星恒星周期的认识有进步的表现。三统历的行星五步详细描述行星在一个会合周期内的动态，成为后世历法的楷模，也是有意义的。此外，三统历比马王堆帛书反映的行星知识也有进步。



(4)三统历首创"上元积年"的推求，在数学史上颇有地位，但是否用一次同余式的方法求解还有待研究。在天文学上这一方法引导出后代历法繁复地推求上元积年，浪费了精力，至元代郭守敬授时历时被废除不用。

中国古代历法中关于日、月、行星的计算可以分成两大阶段，即常量阶段和变量阶段。三统历可以作为常量阶段的代表。严敦杰在《中国古代数理天文学的若干特点》一文中总结了这一特点。按照这一思路，可以将三统历的计算法简捷地归纳成若干公式或表格。

上元是历法的起算点，此时刻正逢十一月甲子朔冬至。因三统历的年长是一常量，月长也是一常量。故：

$$1\text{年}=365\frac{385}{1539}\text{天}=6\times60+5\frac{385}{1539}(\text{天})$$



$$1年=365\frac{385}{1539}天=12\times29\frac{817}{1539}+10\frac{1354}{1539}(天)$$

故知每过一年，冬至干支要前进 $5\frac{385}{1539}$，冬至月龄要前进 $10\frac{1354}{1539}$。太初元年距上元 143127 年，而

$$143127\times365\frac{385}{1539}-[60]_r=0$$

$$143127\times365\frac{385}{1539}-[29\frac{817}{1539}]_r=0$$

$[\quad]_r$ 的意义是将括号内的数逐个减去取余数。因此，太初元年十一月冬至又逢甲子、朔，又可以作为新的起算点，这样距太初元年 t 年的某年冬至干支和月龄可按下式计算：

$$冬至干支=5\frac{385}{1539}\cdot t-[60]_r$$

$$冬至月龄=10\frac{1354}{1539}\cdot t-[29\frac{817}{1539}]_r$$

由于每过一年冬至月龄要前进 $10\frac{1354}{1539}$天，故冬至月龄大于

$$29\frac{817}{1539}-10\frac{1534}{1539}=18\frac{1002}{1539}$$

的年里必定有无中气之月，即需置闰，并可根据月龄的大小决定闰月在第几个月以后。又因为冬至干支和月龄分别有 4617 年和 19 年的循环周期，上述公式又可简化为表格的形式(见表 2—4、表 2—5)。

表 2—4　冬至干支表

年数 t	1	2	3	4	5	6	7	8	9
冬至干支	$5\frac{385}{1539}$	$10\frac{770}{1539}$	$15\frac{1155}{1539}$	$21\frac{1}{1539}$	$26\frac{386}{1539}$	$31\frac{771}{1539}$	$36\frac{1156}{1539}$	$42\frac{2}{1539}$	$47\frac{387}{1539}$
t	10	20	30	40	50	60	70	80	90
冬至干支	$52\frac{772}{1539}$	$45\frac{5}{1539}$	$37\frac{777}{1539}$	$30\frac{10}{1539}$	$22\frac{782}{1539}$	$15\frac{15}{1539}$	$7\frac{787}{1539}$	$\frac{20}{1539}$	$52\frac{792}{1539}$
t	100	200	300	400	500	600	700	800	900
冬至干支	$45\frac{25}{1539}$	$30\frac{50}{1539}$	$15\frac{75}{1539}$	$\frac{100}{1539}$	$45\frac{125}{1539}$	$30\frac{150}{1539}$	$15\frac{175}{1539}$	$\frac{200}{1539}$	$45\frac{225}{1539}$
t	1000	2000	3000	4000					
冬至干支	$30\frac{250}{1539}$	$\frac{500}{1539}$	$30\frac{750}{1539}$	$\frac{1000}{1539}$					



表 2—5　冬至月龄表

年数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
冬至月龄	$5\frac{1354}{1539}$	$10\frac{1169}{1539}$	$15\frac{167}{1539}$	$21\frac{1521}{1539}$	$26\frac{1336}{1539}$	$31\frac{334}{1539}$	$36\frac{149}{1539}$	$42\frac{1503}{1539}$	$47\frac{501}{1539}$	
年数	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
冬至月龄	$20\frac{316}{1539}$	$1\frac{853}{1539}$	$12\frac{668}{1539}$	$23\frac{483}{1539}$	$4\frac{1020}{1539}$	$15\frac{835}{1539}$	$26\frac{650}{1539}$	$7\frac{1187}{1539}$	$18\frac{1002}{1539}$	0

例如，求距太初元年 4617 年的冬至干支。

查表得　$\frac{1000}{1539}+30\frac{150}{1539}+52\frac{772}{1539}+36\frac{1156}{1539}=120$ 正好是 60 的整数倍，干支数为 0，其日为甲子。

再求距太初元年 3546 年的冬至干支：

查表得　$30\frac{750}{1539}+45\frac{125}{1539}+30\frac{10}{1539}+31\frac{771}{1539}=137\frac{117}{1539}$，减去 120，干支数为 17，其日为辛巳。

再例如，求距太初元年 3546 年的冬至月龄。

$3546\div19=186$ 余 12　查 12 年的值为 $12\frac{668}{1539}$ 从表中可以看出，第 2、5、8、10、13、16、18 七年的冬至月龄都大于(或等于) $18\frac{1002}{1539}$，这些年有闰月。

利用上面两个表，可以很简便地求得任何一年的冬至干支和冬至月龄，进而可以安排该年的历谱。这种方法对于使用平朔的历法都适用，即使对使用定朔的历法也是一个基础。

三统历关于行星运动的“五步”，也是类似于平朔计算法的一种算法，以一个会合周期里的各种动态作为常量，行星以一个会合周期为单位循环重复各种动态，这样就可以算得任何时刻的行星位置。其计算步骤可以化简为下列公式：

某时刻 → 在会合周期里的位置 → 距日度 → 行星在恒星间的位置
某时刻 → 太阳在恒星间的位置 → 行星在恒星间的位置

意思是：要求某时刻某行星在恒星间的位置和相对于太阳的位置(距日度)，可分两步走。首先求出该时刻在某行星的会合周期里的位置，按三统历给出的“五步”即可求得该时刻某行星的距日度，再求得太阳该时刻在恒星间的位置，则行星在恒星间的位置即可求得。



例如，要求太初元年十一月朔冬至时刻木星的位置。已知该时刻距上元积143127年，在这样长的时间内木星已完成$143127\times\frac{1583}{1728}$个会合周期，其整数部分舍去，余数为0.9218，即此时刻木星距晨始见（会合周期的起点）有0.9218个会合期间，木星的会合周期是398.7064天，故0.9218×398.7064＝367.56天。按照五步推算，从晨始见起其后367.56天，木星距日度为－13°伏，昏星，说明此时木星在太阳之东13°，当年太阳冬至时在斗21度，据此马上可以得到木星在牛、女之间。这样一种计算方法代表了中国历法中求五星位置的主流，当进入变量阶段时，也是在此基础上附加不均匀运动的改正，因此三统历的五星运动部分有其深远的影响。

为了简捷，可以对每一行星分别列表，给出一个会合周期里每日的距日度，当求得要求的某时刻在会合周期里的累积天数以后，查表即可得距日度。

四、三统历的行星知识

三统历的行星运动知识和数据都比汉以前大有进步。《汉书·天文志》说："古代五星之推，亡逆行者，至甘氏石氏经，以荧惑、太白为有逆行。"《隋书·天文志》说："古历五星并顺行，秦历始有金火之逆。又甘石并时，自有差异。汉初测候，乃知五星皆有逆行。"讲述了历法中推算五星运动的进步过程。古历当指古六历，当时还未发现逆行。金火逆行的发现可能属于甘德、石申夫或更早一些。如《晏子春秋》卷一讲到齐景公时（前547—前490）晏子讲过"荧惑回逆"，但当时未能掌握规律。秦历中采用的金火逆行知识可能来自甘石二氏。1973年发现了帛书《五星占》，其中也提到火金的逆行现象①，这也可能来自秦历（或颛顼历），即甘、石的行星知识。到汉初测候对五星运动的认识有了进步，三统历的五星知识可能是汉初测候的结果。



三统历不但认识到五个行星都有逆行，而且得到了较为准确的五星会合周期，对一个会合周期内行星动态有了较为准确的认识。（当然，因为行星的轨道为椭圆，轨道平面有倾角，轨道本身的偏心率还会变化，所以每一个会合周期内的动态都是变化的，三统历没有认识到这一点，以不变的五步推古论今，这不能过高地要求古人。）为了说明这一点，可用一个大体的比较来显示。现以1978年到1980年木星和金星的一个完整会合周期里的动态，同外行星木星、内行星金星三统历的五步比较，这只能显示一个大体轮廓（见表2－6、表2－7）。

① 金星的逆行是改字后的结果，原文为"道"字，似乎证据软弱。

表 2—6 金星

行星动态		行星行度		距日度	
现在	三统历	现在	三统历	现在	三统历
1978.11.17	晨始见			15°	15
逆行 10 天	逆行 6 天	−1°.75	−3	27°.25	24
11.27 留	留 8 天	0	0	27°.25	32
顺行 52 天	顺 46 天	34°.50	33	49°.75	45
1979.1.18 西大距					
顺行 169 天	顺 184 天	199°.75	214	15°	15
7.6 伏					
伏顺行 107 天	伏顺 83 天	130°.50	$133\frac{4365220}{9977337}$	−15°	−15
10.21 夕始见	夕始见				
顺行 167 天	顺 $181\frac{45}{107}$天	198°.50	211	−44°.75	$-44\frac{62}{107}$
1980.4.5 东大距					
顺行 50 天	顺 46 天	34°.0	33	−30°.50	$-31\frac{62}{107}$
5.25 留	留 $7\frac{62}{107}$天	0	0	−30°.50	−24
逆行 12 天	逆 6 天	−3	−3	−15°	−15
6.6 伏					
伏逆 19 天	伏逆 $16\frac{1295352}{9977337}$天	−11°	$-14\frac{3069868}{9977337}$	+15°	15
6.25 晨始见	晨始见			15	15

表 2—7 木星

行星动态		行星行度		距日度	
现在	三统历	现在	三统历	现在	三统历
1979.9.4	晨始见			15°	15
顺行 114 天	顺行 121 天	15°	22	112°.75	114
12.27 留	留 25 天	0	0	112°.75	139
逆行 122 天	逆行 84 天	−9°.5	−12	242°	235
1980.4.27 留	留 $24\frac{3}{7308711}$天	0	0	242°	259
顺行 120 天	顺行 $111\frac{1828362}{7308711}$天	15°	$20\frac{1661286}{7308711}$	345°.25	350
8.24 伏	伏				
伏顺 42 天	伏顺 $33\frac{3334737}{7308711}$天	8°.25	$3\frac{1673453}{7308711}$	15°	15
1980.10.5	晨始见			15°	15





从上两表可以看到，三统历对一个会合周期里各行星动态的认识是正确的，各动态段的时间长短也一一对应，行星的行度和距日度都有相当的一致性，根据木星的表画出的图明显地表现出这种一致性。这说明汉代对行星的运动知识比汉之前有了长足的进步。三统历虽未认识到合，对内行星也不知有上合和下合，但它区别了晨始见同夕始见后的动态是不同的。三统历对各行星都排出了一个会合周期内的动态，即五步，对后世历法产生了重大影响。

有趣的是留的时间长度。留，本是一个瞬间的过程，三统历给出了长达几天或几十天的留，如水星留 2 天，金星留 8 天，火星留 10 天，木星留 25 天，土星留 34 天（而且两次留的时间不一样长，这一点后面还要提到）。这给出了当时能觉察到的位移限度。事实上，金星、木星、火星、土星在所给出的留的时间内赤经行度都约为 15′，只有水星在留附近 2 天的赤经行度小于 7′，这似乎说明三统历能测出的最小角距为 15′左右（赤经差 1 时分）。这样的测量精度对汉代的仪器来说好像偏高了，但是从五个行星留的天数都一致地得到 15′的数据，是值得引起注意的。

至于说到一个会合周期里两次留的时间不对称（只有火星均为 10 天），这也反映了三统历对行星视运动速度变化有认识。当然，从甘石二氏发现金火二星有逆行，就应该说已觉察到行星视运动速度有变化；在帛书《五星占》中也已明确指出金星速度有渐快或渐慢之变；而三统历对五个行星各动态段都给出了具体的数据，尽管在某些细节上有出于人为凑合的地方，但这无疑是一个较大的进步。还应该注意到，发现行星视运动不均匀竟比发现月亮、太阳视运动不均匀来得早！行星视运动的速度比月亮平均要慢 90%，木土二星的视运动比太阳要慢 90%以上，而发现月亮视运动不均匀是后汉编䜣等人（1 世纪），发现太阳视运动不均匀是南北朝张子信（6 世纪）。为什么能较早发现行星视运动不均匀现象？行星在恒星间的位置比较容易观测这是一个因素（太阳不能直接观测，月亮视面较大且也很亮，不易确定它们在恒星间的准确位置），行星视运动不均匀现象比较显著也是一个因素，但较好的仪器和观测技术也是一定需要的。考虑到行星留提供的 15′的数据，再次说明汉初应有较高的观测水平。



统观刘歆的工作，没有发现他做仪器搞观测的记载。而汉初制定太初历时有大量的观测活动，太初历制定后还有几十年的观测校验过程。据《汉书·律历志》载，这一活动大约开始于公元前 110 年[1]至公元前 75 年，先有公孙卿、壶遂、司马迁、遵、射姓等人“乃定东西，主晷仪，下漏刻，以追二十八宿相距于四方……”；后有唐都、落下闳等人“地中转浑天”，“运算转历”；又令宦者淳于陵渠校历律昏明，罢废

① 英国库伦博士提出从公元前 113 年开始。

尤疏远者17家，遂用邓平八十一分法；公元前78年，张寿王和鲜于妄人就太初历问题又进行了一场辩论，曾令麻光等20余人在上林清台杂候日月晦朔弦望八节二十四气，课诸历疏密，经过3年的比较.直至元凤六年(前75)。如此前后共有36年时间，大初历的地位最后确定下来。三统历的五星知识可能就是上述这些人多年来观测资料的总结。刘歆上距这些人五六十年，他和父亲刘向校典经籍，都能接触这些资料，刘向又曾作《五纪论》，注意评论历法的是非问题。因此刘歆根据前人的这些资料，总结出汉初关于行星运动的知识是完全可能的。

但是必须指出，三统历的五步，有人为地凑合和数字神秘主义的影响。仔细分析各行星的五步，发现它们的会合周期同观测值都不差一天，而各动态段可差到几天，十几天甚至三四十天，这说明行星的会合周期值不是由各动态段相加得到，而是从晨始见的观测资料统计得来的。三统历均以晨始见为一会合周期的起点，只要注意收集前人关于晨始见的资料，时间越长平均起来结果就越好，这对刘歆来说是容易做到的。在先有了会合周期后，再来分配各动态段的数据。由于段与段之间的变化较晨始见难以觉察，所以各动态段的误差较大。为了符合总的会合周期值，刘歆只好在各动态段的细节上进行凑合。

根据三统历的五步，可以求得各行星的恒星周期，三个外行星的值均比汉以前有了进步。三统历各行星的恒星周期为：

水	金	火	木	土
1年	1年	1.880年	11.917年	29.793年

最后，根据五步的数据，可以求得行星晨始见或夕始见时的距日度，这是行星亮度的反映。三统历一律以“去日半次”为标准，但具体数据的推算得到的数值各有不同，各行星的晨始见距日度如下(已将奇零数化为近似小数)：

水	金	火	木	土
15.2	15.2	16.1	15.1	15.2

这当中固然有凑合的成分，但也有反映行星视亮度的成分，有一定的观测依据。然而更有价值的是它对后世的影响。由于它的开创性工作，使得后世历法都注意行星初见和初伏时的距日度(即后历中的见伏度)，这一资料对今天的研究很有价值。

(撰稿人：薄树人)

第六节 郗萌

宣夜说是中国古代三家主要宇宙论学派之一。这家学说和另外两家相比，有



很独特的优点。然而，它的命运却也是特别的不幸。用东汉蔡邕的话来说就是："宣夜之学绝无师法。"虽然在今天看来这个说法并不确切，但是细查历史文献我们可以看到，盖天说留下了一部巨著《周髀算经》；浑天说则有扬雄、桓谭、张衡、蔡邕、陆绩、王蕃、何承天等一系列著名学者的论著传述。惟独宣夜说，找遍了历代史书，只能在《晋》、《隋》二书的《天文志》中读到一段汉代郗萌关于这个学说的传述。当然，我们还可以在郗萌之前或之后的诸家著述中分析出一些与宣夜说有关的论断、观点与学说。但是，只有在读过郗萌的简要传述，明白了宣夜说的思想究竟是什么之后，才有这样做的可能。

正因为这个缘故，在后人看来，郗萌就自然地成为宣夜说的主要代表人物。虽然郗萌自己声明，他不过是记录他的先师传授给他的知识而已；但是，没有郗萌，后人就会对宣夜说一无所知。仅此一端，郗萌在中国天文学史上的地位就是不容忽视的。

一、关于郗萌的身世

给后人留下了宣夜说这份宝贵科学遗产的郗萌，他本人却没有在历史上留下稍微系统一点的史料。有关他的时代、经历，都只有一些鳞爪片断的记载，而在这些记载之间还有一定的矛盾。最令人感叹的是，史籍上对他的姓都是稀里糊涂的，有的说他姓郗(xī)，也有的说他姓郄(xì)。

(1)郗萌的姓氏。过去研究中国天文学史的人都把这位宣夜说的传人叫作郄萌。清代阮元编的《畴人传》，乃至20世纪70年代中有关宣夜说的文章都是这么称的。他们的根据出自《晋书・天文志》。查几种通行本《晋书》，例如，开明版《二十五史》本、中华版《四部备要》本、商务版《二十四史》百衲本，等等，其中关于郗萌传宣夜说的一段，均引作：

> 宣夜之书云，惟汉秘书郎郄萌记先师相传云……

不但如此，人们还从唐代编的《开元占经》中发现了大量郄萌的话，表明是有过一位星占家叫郄萌。因此，过去人们称"郄萌"，好像一点矛盾也没有。

但是我们前面已经看到，在中华书局出的标点本《晋书・天文志》中却写的不是"郄萌"而是"郗萌"。

关于这个问题，我们曾向中华书局编辑部请教。他们校点《晋书》时用的工作本是金陵书局本。该书与吴仁镒《晋书斠注》以及斠注中征引《太平御览》所引《抱朴子》一段均作郗萌，故当时没有出校。他们还指出，郗、郄为两个不同的姓氏，后人往往混用，以至发生混乱。例如，他们也举出宋小字本《晋书》(即百衲本)和宋本《太平御览》卷二都作郄萌。



因此，究竟是郄萌还是郗萌，是存在着问题的。根据我们现在的研究，认为应该作"郗萌"。理由如下：

①《晋书·天文志》关于宣夜说的那段文字在《隋书·天文志》中也有。两段文字绝大部分字句都是相同的，它们的作者同是唐初的著名天文学家李淳风。然而那个关键的人名在《隋书》里却是作郗萌，包括百衲本在内的各种本子都是一样。

查《隋书》中还有三处提到郗萌。这三处都见于《隋书·经籍志》。该志在"河图洛书"类中载有：

《春秋灾异》十五卷，郗萌撰。

而在这一类书的编者后记中又说道：

汉代有郗氏、袁氏说(按，指研究谶纬之说)。汉末，郎中郗萌集图纬谶杂占为五十篇，谓之《春秋灾异》。

又，在五行类中记有"《杂杀历》九卷"，下有编者小注：

梁有《秦灾异》一卷，后汉中郎郗萌撰。《后汉灾异》十五卷，《晋灾异簿》二卷……亡。

这一批已亡佚书的书目当是《隋书·经籍志》编者从梁代的皇家藏书书目中撮录而来。

上述三处有关郗萌姓氏的资料出处不一，而均作郗则无二致。特别《经籍志》编者说明，郗氏是汉代研究谶纬的世家。这表明郗姓的错误可能性很小。

②郗、郄两姓容易搞混，而其错误在早期往往是把郗错成郄。例如，《后汉书·伏皇后纪》引曹操代草的《废后策》中说到："今使御使大夫郗虑持节策诏其上皇后玺绶。"可是到了《晋书》中却把郗虑一家改成了郄姓。《晋书·郄鉴传》中说："汉御史大夫虑之玄弥也。"



清人张澍《姓氏辩误》卷五郗氏章下有几段说到郗误读或误写为郄的问题。

黄长睿《法帖刊误》云：晋郗姓自太尉鉴以后遂为江右名宗。读如《尚书》"绨绣"之绨。世人俗书郗讹作郄，呼为"郄诜"之郄。此大谬也。……后世因俗书相混，不复分别郗、郄为二姓矣。

李冶《敬斋古今黈》曰：晋郗超之郗则宜如绨音，郄诜之郄则读如绤音。今人不复别白，皆从绮逆反，大谬也。予儿时读李翰蒙术先生传授皆读郗作郤，长大始悟其错。俗又读郗作客，可笑。

郤、郗二字形声俱别，本不相通。汉隶于谷字旁作𠓗，故郤亦作郄。后人于郗字改作郄，非也。

从这些记述里可以看出，郗误作郄，大抵是因误读了音，而致误写的。这种情况在中国文字史上并不少见。



③宋本《太平御览》卷二固作郄萌，但在卷三四〇中所引却是郗萌占。

有没有可能郄萌和郗萌都对，而他们是两个人，一位是天文学家，另一位是星占家？

这一点我们认为是不可能的。各种本子上的郗萌和郄萌是同一个人，他是天文学家，又是星占家。

宋本《太平御览》卷二所述郄萌宣夜说，明言录自《抱朴子》。查今本《抱朴子》此段已佚。但是在今本《抱朴子·内篇·释滞》中有一段谈到关于天文学和占星术的学问时，说到有六大天文星占名家，他们是："巫咸、甘公、石申、海中、郄萌、七曜。"由此可见，宣夜说的传人的确既是一位天文学家，又是一位星占家，不过今本《抱朴子》把他称为"郄萌"。

既然如此，《开元占经》中大量引述的"郄萌曰"，也当然是传宣夜说的那个"郄萌"的话。

然而大量证据表明《开元占经》作"郄萌"是错误的。梁代的《续汉书·天文志》刘昭补注、唐代的《初学记》、李淳风的《乙巳占》等，都引作"郗萌"。北京图书馆从日本复制回来的两部从唐代就传入日本的天文星占书《天文要录》和《天地瑞祥志》，也都引有大量郗萌的占语，而不作郄萌。而上述种种所引占语，是和《开元占经》所引郄萌的话是一致的。这些都证明，中国历史上确实存在过的星占家叫郗萌，而郄萌则是误写。

因此，今本《抱朴子》和宋本《太平御览》卷二所引《抱朴子》作"郄萌"也均是误写。亦即，宣夜说的传人是郗萌，而不是郄萌。

(2)郗萌的经历。郗萌生平经历在史籍中只留下极为稀少的信息。

查《晋》、《隋》两书的《天文志》，都称他为"汉秘书郎"。而在《隋书·经籍志》中有一处提到他是中郎，另一处提到他是郎中。

所谓郎中或中郎，都是汉代的郎官。郎官是一种没有专门职务的闲官。一般是在宫廷里值班侍卫，皇帝出巡时充当车骑陪从，平常随时可向皇帝建议，充作皇帝顾问，听候皇帝的特殊派遣。据唐杜佑《通典》卷二九"三署郎官叙"考证，那些公车、特徵、贤良、方正，等等，考中博士的就派当郎官，下第白衣考中博士的就拜郎中。因此，不少郎官是通经书、有文才的。其中中郎的等级较高，年俸六百石，郎中则为三百石。因此《隋书·经籍志》一说郗萌当中郎，又说他当郎中，这大概是郗萌官阶升迁的真实反映。

但又说他是秘书郎，这又是怎么回事呢？

考汉代的职官中并没有秘书郎这个职衔。据《通典》、《通志》、《文献通考》的考证，直到后汉延熹二年(159)才设置秘书监(不叫秘书郎)一人，几年后又撤销。人



魏以后才有秘书郎的正式官名。不过,《通志》、《文献通考》又曾称后汉马融为秘书郎。《后汉书·马融列传》却说,马融在永初四年(110)"拜为校书郎中,诣东观典校秘书。"原来后汉时代把皇家收藏的图书秘记都放在东观,时常选一些文人学士入内典校这些秘(记)(图)书,或完成某项撰修著述的任务。而这些人里有不少是从闲官——郎官中选派的。因此当时人们把这种典校秘书的郎官称为校书郎,后人也可称之为秘书郎。马融以郎中典校秘书,故《后汉书》称他为校书郎中,而《通志》等自然也可称之为秘书郎。

从这里我们可以得到启发,郗萌应是当了郎官而被选入东观典校秘书的,故《晋》《隋》《天文志》称他为"汉秘书郎"。

另外,据《天地瑞祥志》记载:"……太史令郗萌……并修天地灾异之占。"如此说来,郗萌还曾当过太史令。这个经历倒和司马迁颇有点相像。

(3)郗萌的时代。过去天文学史家都认为郗萌生在汉末。这是受了《隋书·经籍志》"河图洛书"类的后记的影响。但是,细一想总不免有点疑问。郗萌如在汉末,则当与蔡邕同时代。蔡邕也曾在东观呆过相当长的时间,他又那么关心天文,怎么他似乎对宣夜说一无所知?

经研究,我们发现,清代考据家姚振宗早就对郗萌是汉末人之说提出了否定。他在他的《后汉·艺文志》一书谶纬类中引了"郗萌《春秋灾异》十五卷"之后,下面加了一大段他的按语:

> 按,《隋书·天文志》称汉秘书郎郗萌记先师宣夜之说。此称汉末郎中。又,子部五行家称后汉中郎。考班孟坚《典引·序》云:"永平十七年臣与贾逵、傅毅、杜矩、展隆、郄萌等召诣云龙门。"是萌在明帝时,与贾景伯诸人同官,非汉末也。



经查,《文选》所录班固《典引》中的确有这段序,但其中写的是郗萌而非郄萌。这是一个很好的旁证,证明"郗"姓误成"郄"姓是如此之易,即令以朴学见长的清代考据家也不免疏忽,事实上,姚振宗本人在《后汉·艺文志》的"文史"类中也引了班固《典引·序》,其中写的也是"郗萌"!

班固《典引·序》说的是永平十七年(74)的一天,汉明帝召见班固等人,向他们提问说,司马迁《史记》对秦始皇所下的赞语是否有错误。这一场廷对讨论的是秦始皇、司马迁等历史人物的评价问题。参加讨论的人都是精通经书、熟知前朝史册的人。就职务而论,班固、贾逵和傅毅[①]等当时都是在东观典校秘书的郎官。

由此可见,班固所记和他一同参加廷对的郗萌和《晋》、《隋》《天文志》所记的汉

---

① 据《后汉书·傅毅传》,傅毅入朝为官是在章帝建初年间,但据班固《典引·序》的话可知《后汉书》的记载是错了。



秘书郎郗萌的学识、身份是相合的。因此，我们认为姚振宗的判断是有道理的，即宣夜说的传人郗萌是汉明帝时代的人。

二、宣夜说的内容及其评价

鉴于郗萌传述的重要性，特把《晋书・天文志》中有关该段的全文引述于下[①]：

> 宣夜之书亡。惟汉秘书郎郗萌记先师相传云："天了无质。仰而瞻之，高远无极，眼瞀精绝，故苍苍然也。譬之旁望远道之黄山而皆青，俯察千仞之深谷而窈黑，夫青非真色，而黑非有体也。日月众星，自然浮生虚空之中，其行其止皆须气焉。是以七曜或逝或住，或顺或逆，伏见无常，进退不同，由乎无所根系，故各异也。故辰极常居其所，而北斗不与众星西没也。摄提、填星皆东行，日行一度，月行十三度，迟疾任情，其无所系著可知矣。若缀附天体，不得尔也。

从这一段话分析，宣夜说的主要内容大概有以下几点：

(1)天没有形质，不是一个硬固的东西。盖天说认为天像个盖子；浑天说认为天像个圆球或鸡蛋壳，尽管形状不同，但却都是一个硬固的东西。现在宣夜说却断然否认天有任何形状，否定天的硬固性，这使它在三家学说中显得十分独特。

(2)天高远无极，没有一个边际。也就是说，宣夜说认为天是无限的。这一点和上面的论点紧密相连。盖天说认为天离地有一定的距离，浑天说认为天有一定的半径。只要认为天是一件硬固的东西，它就不可能是高远无极的。

(3)人眼之所以看到天是青色的，并不是因为天真正是青色的，而是因为天高远无极的缘故。就好像一座黄色的山，远远望去就是青的；而如从高处俯看深谷，它就显得幽黑。宣夜说接着强调了："青非真色，而黑非有体"，这再一次表明，宣夜家认为天是没有形体，高远无极的。

(4)日、月、众星自然浮生在虚空之中，而不是固着在一个有形质的天上。这些日、月、众星的行动也不是天带动的结果，而是由气在控制着。

(5)各种天体的运动极不相同。反过来，要是这些天体都固着在一个硬固的天上，那么它们的运动状态就不会相差那么大。

对于宣夜学说的现代评价，最早是由中国天文学史界的前辈朱文鑫所作的。早在20世纪30年代前期，他就写过一篇短论：《郄萌宣夜说》[②]。文中指出："盖浑说仅言其形，宣夜乃推究其理者也。""郄萌所传宣夜之说，虽寥寥数行，而天学之大纲，悉具于是。"对郗萌传述的内容给予了高度的评价。朱文鑫具体指出了宣夜说



---

① 据中华书局标点本。

② 朱文鑫所说的"郄萌"即"郗萌"，说详见后。

的四条优点：

> 星象丽天，为天之文，而非天之体。望之若皆投影于天穹者，为星之视位，而非空中之真位。宣夜独谓日月众星非缀附天体，而实浮生空虚，诚为扼要之论。
>
> 又谓天无形质，是其独到之见。
>
> 取譬之辞，皆由实测。句中有图，言下见象。
>
> 以玄妙万能之气，推众星行止之源，尤为古人所未及。

上述“扼要之论”、“独到之见”、“尤为古人所未及”的三点，的确抓住了宣夜说的本质核心，对宣夜说的优越之点做出了科学的评价。朱文鑫不愧是以现代天文学知识研究中国天文学史的一代名家。可惜的是这篇著作曾被埋没了30多年，后由科学出版社将它收集在《“十七史”天文诸志之研究》一书中，于1965年出版。

英国学者李约瑟博士对宣夜说的历史功绩做了充分的肯定。他在他的巨著《Science and Civilisation in China》第三卷第二十章“天文学”（合作者王铃博士，中译本《中国科学技术史》第四卷）中指出：

> 这种宇宙观的开明进步，同希腊的任何说法相比，的确都毫不逊色。亚里士多德和托勒密僵硬的同心水晶球概念，曾束缚欧洲天文学思想一千多年。中国这种在无限的空间中飘浮着稀疏的天体的看法，要比欧洲的水晶球概念先进得多。

李约瑟从中西天文学的对比出发，把宣夜说置于世界范围内来肯定它的先进性，这个评价是十分高了。不仅如此，他还进一步提出了这样一个命题：包括宣夜说在内的中国天文学思想是促使欧洲中世纪宇宙观发生崩溃，并对近代天文学的诞生有贡献的一个因素。李约瑟收集了17世纪许多思想家、作家和科学家谈到中国的资料，这些资料表明，当时的人们在提出和讨论一些先进的天文学思想时，常常要以中国天文学思想——包括宣夜说——来作为他们的启发和支持力量。李约瑟所收集的这些资料确实极有趣味。



朱文鑫和李约瑟的评论已比较全面地概括了宣夜说的科学性和进步意义，我们在此只做一点补充。

宣夜说认为，日月众星“其行其止，皆须气焉。”对此，朱文鑫评道：“尤为古人所未及。”为什么说是古人所未及呢？因为浑、盖诸说都只是说明日月众星的运动状况，还没有一家学说认真地提出过星体运动的机理问题（或者也可称之为控制日月众星运动的动力问题）。

诚然，《淮南子・天文训》所记载的共工氏头触不周山的神话里曾经说到，不周山这根天柱被撞折后“天倾西北，故日月星辰移焉。”创造这段神话的人们试图用日



常生活中习见的水往低处流之类的事实来解释日月星辰东升西落的周日运动。作为一种原始的天文学知识的反映，这段共工氏头触不周山的神话可说是我国最早的关于天体运动的机理的说明。不过，日月星辰除了有与恒星大体相同的周日运动外，还有它们各自的周期运动；即便是恒星的周日运动，也还有恒星圈内的恒星从西北向东北这种从“低”到“高”的运动，这些现象都不是从高到低这种简单的经验所能说明的。

当然，要解决这些天体复杂运动的机理问题，已超出了当时科学发展所许可的范围。盖天、浑天两说中都不曾提出任何有关的假说，这是不足为怪的。不仅如此，就是在世界范围内，当时的希腊天文学也曾试图建立一整套同心球或小轮等的计算系统来说明日月五星的周日运动和绕日公转运动的现象。希腊天文学曾取得了很大的成功，在当时的观测精度下描述了日月五星的运动特性。然而希腊天文学所研究的实质上只是一种运动学。它也并未能在这些复杂的运动特性背后提出是否蕴藏着深刻的物理本质的问题。因此，值得惊奇的是，在两千多年前的古代宣夜说居然就试图从物理本质上来提出并说明日月众星各种复杂运动的机理问题。这就使它在当代世界上独树一帜，而值得我们在世界科学思想史上大书一笔。

宣夜说认为，“气”是控制日月众星的运动，使之发生种种变化的根本因素。这里的“气”是一种物质力量，这是毫无疑问的。

就一种物质力量来说，中国古代除了把各种状态之下的空气称之为“气”外，也常常把一些人们还不认识的，虽然已经直接或间接感觉到它的存在，却还不能直接捉摸到的物质力量也称之为“气”。例如，医学所谓精、气、神的“气”，武术家所谓气功的“气”，等等。其中有一种“气”是专用于所谓“隔阂相通”情况之下的。如果两个物体发生了作用，但彼此间却并无直接或间接的接触，这时古人就设想有一种“气”在两者之间起着媒介作用，传递彼此互相作用的力量。这种“气”的最明显的例子就是古代观察到的磁力和静电力。晋代郭璞在《山海经图赞·北山经第三》中说到：

> 磁石吸铁，瑇瑁取芥，气有潜通，数亦宜会。

《古文〈参同契〉笺注集解》卷上引宋代俞琰的话：

> 神与气合，隔阂相通，犹如磁石之吸铁也。①

当然，宣夜说还没有提出“隔阂相通”的问题。它还提不出来是否还有另一个天体和日月众星相通。尽管如此，宣夜说的“气”却表明了，在中国古代天文学思想中，同样是有万有引力思想活动的痕迹。我们可以看到，明清之际就有许多天文学

① 这两条有关磁石吸铁的资料是中国科学院自然科学史研究所林文照提供的。谨此致谢。



家在研究五星的运动中萌发了朴素的引力思想。他们所提出的说明，正是藉助于“气”和磁石。例如，明末邢云路在1608年出版的《古今律历考》一书中提出：

星、月之往来，皆太阳、气之牵系也。

由此可见，对于宣夜说的“气”，我们实在应该给以高度的评价。

作为一种天文学理论，宣夜说也不可避免地有它的缺陷。最主要的缺陷是，它没有能深入地探讨日月五星运行的具体规律。因此，从中国历法或数理天文学的发展角度来看，宣夜说的影响就远不如浑天说来得大。然而，从人类认识宇宙的整个历史发展来看，宣布了宇宙的无限性，提出了天体运动的物理机制问题的宣夜说却是极为重要的。它在世界天文学的发展史上应该占有光荣的地位。

因此，把这个独特的宇宙学说传播给后世的郗萌，自然也应当受到后人深深的纪念和尊敬。

三、郗萌的其他天文星占工作

从前面所引《隋书·经籍志》的资料可知，郗萌著有两部占星术著作，即：《春秋灾异》十五卷；《秦灾异》一卷。

据唐初占星术著作《天文要录》[①]的记载，郗萌还撰有《蜺虹通玄记》七卷。

上引这三部书，今都已佚散。不过，我们从《续汉书·天文志》刘昭注中，从唐代的几部星占书，如《天地瑞祥志》《天文要录》《大唐开元占经》等书中，还可以见到相当多的郗萌的占星术文字。从这里可以知道，郗萌是一位星占家。但是，他的工作在天文学上有何创造，则已难判明。

有趣的是，我们从《抱朴子》上发现了一段有关郗萌的话，它反映了郗萌的确是一位高明的天文学家。今把这段话引录如下：



夫五经所不载者无限矣；周孔所不言者不少矣。特为吾子略说其万一焉。……今问善《易》者，周天之度数，四海之广狭，宇宙之相去凡为几里？上何所极，下何所据？及其转动谁所推引？日月迟疾，九道所乘，昏明修短，七星迭正，五纬盈缩，冠珥薄蚀，四七凌犯，彗孛所出，气天之异，景老（按：指景星和老人星）之祥，辰极不动，镇星独东，羲和外景而热，望舒内鉴而寒，天汉仰见为润下之性，涛潮往来有大小之变，五音六属占喜怒之情，云动气起会吉凶之候，欃枪尤矢，旬始锋泽，四镇五残，天狗归邪，或以示成，或以正败，明《易》之生不能论此也。以此问《春秋》四部、《诗》、《书》、三“礼”之家皆复无以对矣。皆曰：悉正经所不载，惟有巫咸、甘公、

---

① 该书还记载，郗萌所著《春秋灾异》共三十八卷。这个卷数比《隋书》所载增大，如果不是传抄错误，那么也可能是后人窜附增益的结果。



石申、海中、郄萌、七曜记之悉矣。

这段话里，除了占星术问题外，也说到了大量真正的天文学问题。对这些问题，葛洪指出有六家之书详细记述到它们，其中郗萌乃是一家。这说明，至少在晋代的葛洪看来，郗萌是一位卓越的天文学家。而我们知道，葛洪本人就正是一位天文学家，因此，他对郗萌的推崇，当然应该给我们以深刻的印象。我们希望，有朝一日能从地下发掘出有关郗萌的更多的资料，使他的其他天文学工作不至于永远地沉没。

（撰稿人：薄树人）

第七节　贾　逵

贾逵（30—101），字景伯，东汉扶风郡平陵县（今陕西咸阳西北）人，是当时著名的经学家兼天文学家。贾逵出自士大夫世家，其九世祖就是汉初有名的学者贾谊。其父贾徽曾经刘歆等名儒传授，也很有学问。贾逵在家庭环境的影响下，继承了父亲的学业，从小就勤奋学习，终于成为古文经学派的代表人物之一。

古文经学和今文经学是汉代研究儒家经典的两大学派。今文经学由西汉董仲舒创立以后，一直被封建朝廷视为官学。而古文经学则处于受压制的地位。为了提高古文经学的地位，贾逵做过很大的努力。他曾在白虎观与今文经学者李育进行过激烈辩论。东汉时期谶纬迷信之风盛行，而反对谶纬迷信则是古文经学派的特点之一。据说①，贾逵曾摘取谶书中30多处自相矛盾的事情去问善于讲谶的人，使他们无以对答。然而，贾逵为了改变古文经学的地位，后来却放弃了反谶纬的旗帜。他利用朝廷崇尚谶纬的风气，几次上书说古文经典与谶纬相合。凭借这种迎合的办法，贾逵终于得到汉章帝的允许，让《左传》、《谷梁传》、《古文尚书》、《毛诗》等古文经典公开传授。所以，在反对谶纬迷信的斗争中，贾逵的表现远不如同属古文经学派的王充、桓谭以及大科学家张衡等人那样态度鲜明和立场坚定。尽管贾逵很有学问，又善于迎合封建朝廷之所好，但在古文经学没有取得官方地位的当时，他只担任过侍中和左中郎将等职，始终没能做更大的官。

贾逵是一个职业经学家，但在天文学方面也很有研究。章帝元和二年（85），东汉王朝进行了一次历法改革，废弃了西汉太初元年（前104）颁行的太初历，代之以四分历（史称后汉四分历）。太初历的岁实和朔策都比实际数值大（其岁实为



① 据清严可均辑《全后汉文》卷五四张衡《请禁绝图谶疏》。

$365\frac{385}{1539}$=365.2502 日，比实际数值 365.2423 日约大 0.009 日，其朔策为 $29\frac{43}{81}$=29.53086日，比实际数值 29.53059 日约大 0.00027 日），使用时间一长，就要出现节气和朔望后天的现象。然而，当时官方的天文机构却为昏庸无能的太史官所把持，他们"虽知不合，而不能易"。改历工作只好召请民间天文工作者编䜣、李梵等人来完成。贾逵虽然不主管改历工作，却对这次历法改革十分关心。他多次向朝廷推荐当时民间天文工作者的一些新发现和新发明，为使改历工作获得成功而费尽了心机。永元四年，即后汉四分历颁行后 7 年，贾逵发表了自己对这次历法改革的见解，这就是《后汉书・律历志》所记述的《贾逵论历》。这是我们今天了解贾逵天文学思想的主要依据。

一、倡导用黄道坐标测量日月行度

太阳、月亮是沿赤道运行还是沿黄道运行，这个问题在西汉已经解决了。如刘向在西汉成帝年间著《五纪论》说："日月循黄道，南至牵牛，北至东井，率日日行一度，月行十三度十九分度七。"[1]可是，中国古代主要的天体测量仪器——浑仪，从一开始就是采用赤道坐标系统，表示天体位置的坐标也主要使用赤道坐标系：入宿度和去极度，日月五星行度也都是用二十八宿赤道距度来度量的。由于黄道和赤道斜交，其间有约 23 度半的夹角，用赤道坐标来度量日月行度当然不会准确。关于这一点，大司农耿寿昌在西汉甘露二年（前 52）就曾向汉宣帝上奏过："以圆仪度日月行，考驻天运状，日月行至牵牛、东井，日过一度，月行十五度；至娄、角，日行一度，月行十三度，赤道使然。"[2]当时人们都知道这件事。但是，把持官方天文机构的史官却对此置若罔闻，不去设法改进观测办法，直到这次历法改革之际，仍坚持用赤道距度度量日月行度。结果，后汉四分历刚颁行不久，史官就发现实际天象与新历中的弦望时间相差 1 日以上，即出现"月行多而日月相去反少"[3]的所谓日却现象。史官不明白原因何在，还以为是天象发生异常变化，太阳"却缩退行"了。对此，贾逵在论历中明确地指出："黄道值牵牛，出赤道南二十四度，其值东井、舆鬼，出赤道北二十四度。赤道者为中天，去极俱九十度，非日月道，而以遥准度日月，失其实行故也。"贾逵还指出，"傅安等用黄道度日月弦望多近"，并没有什么异常变化发生。经过贾逵的积极推荐，负责官方天文机构的太史官才按照傅安的办法考察了元和二年以来的月亮行度，效果确实不错。可是直到此时，史官们仍强调有客观



① 引自《后汉书・律历志中》。
② 引自《后汉书・律历志中》。
③ 引自《后汉书・律历志中》。



困难："星图有规法，日月实从黄道，官无其器，不知施行。"贾逵只好越俎代庖，上奏当时在位的汉和帝，要求制造能沿黄道测天的仪器。在贾逵的倡导下，终于制成了一架黄道铜仪。用这架仪器，史官们测定了二十八宿的黄道距度，求得了赤道距度化黄道距度的换算值，并将这些数据正式列入了后汉四分历。贾逵在论历中没有谈这架黄道铜仪的具体结构。《后汉书・律历志》只是简单地提到："仪，黄道与度转运，难以候。"据此，估计它可能只是一架增加了一只黄道环的浑仪。黄道环可绕赤道极轴做周日旋转。用这样的仪器所度量的二十八宿黄道距度实际上就是二十八宿赤道距度在黄道上的投影，即过各宿距星的各条赤经线所夹的黄道弧长。所以这种黄道距度与以黄道为基本圈，黄极为极点的真黄经差是不一样的。这架黄道铜仪是初次设计制造，结构不甚理想，使用起来不大方便，所以史官们用它测量日月行度，验证弦望时刻，虽然准确多了，但很少在日常工作中使用它。然而，贾逵、傅安的工作对于我国古代天文学的进步，对于准确地测量日月五星行度，却具有不可否定的功勋。

二、对月行迟疾规律的认识

东汉以前，人们已经发现月行速度时快时慢。但由于当时没有认识到这是月亮本身的一种正常运动规律，有人便从迷信的观念出发，认为月行快慢是不正常的灾异现象。如西汉的刘向在《洪范传》中说："晦而月见西方谓之朓，朔而月见东方谓之侧匿。朓，则王侯其舒言，政缓，则阳行迟、阴行疾也。侧匿，则王侯其肃言，政急，则阳行疾、阴行迟也。"①刘歆也说："舒者，王侯展意专政，臣下促急，故月行疾也。肃者，王侯缩朒不任事，臣下迟缓，故月行迟也。"②另外，也有人认为月行快慢是因测量方法不当所引起的错觉。因为月亮的轨道靠近黄道，而当时的测天仪器为赤道式装置，用这样的仪器测量日月行度，就会产生日月在黄赤交点附近时速度慢，在黄赤大距附近时速度快的观测误差。如上一节提到的耿寿昌的奏文，说的就是这个意思。直到这次改历之前，官方天文机构的史官都对月行有迟疾毫无认识。贾逵在论历中指出："今史官推合朔、弦望、月食加时，率多不中，在于不知月行迟疾意。"

我国最早认识月行迟疾规律的人是后汉四分历的编制者李梵和苏统。贾逵在论历中说到："梵、统以史官候注考校，月行当有迟疾，不必在牵牛、东井、娄、角之间，又非所谓朓、侧匿，乃由月所行道有远近出入所生。率一月移故所疾处三度，九岁九道一复。"这说明，李梵、苏统以及贾逵不仅明确认识到月行快慢是月亮运动的

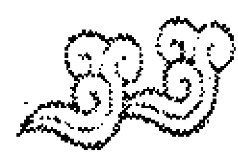
① 引自《开元占经》卷一一。
② 引自《开元占经》卷一一。



正常规律，而且发现月行最速点(疾处)也在有规律地移动：平均每月移动3度，9年沿着“九道”移动一周天。需要指出的是，这里的“三度”和“九年”可能都是一种粗略的说法，因为两个数据是彼此矛盾的：若是每月移动3度，则移动一周天需要9.84年；若是9年移动一周天，则每月应移动3.28度。李梵、贾逵没有具体推算近点月的长度。但根据他们提供的两个数据，可分别算出近点月为27.5310631日和27.5308381日。与现代所测27.5545510日比，显然后者的精度要高一些。另外，关于“九道”也需要说明一下。西汉刘向就曾用“月行九道”来描述月行轨道的变化多端，他在《洪范传》中说：“日有中道，月有九行。中道，谓黄道也。九行者，青道二出黄道东，朱道二出黄道南，白道二出黄道西，黑道二出黄道北。立春、春分月东从青道，立夏、夏至月南从朱道，立秋、秋分月西从白道，立冬、冬至月北从黑道。”[①]因贾逵、李梵等人认为月行最速点也是沿着月亮所行的“九道”移动的，所以他们创立的推算月行速度变化的方法被名之为“九道法”或“九道术”。

贾逵为了证明“九道术”是个先进方法，促使人们相信并使用它，他还用“九道术”推算了汉初以来的38次月食，结果与史官的记录相差很小。尽管如此，贾逵的正确主张也没能真正得以实行，后汉四分历仍使用平朔推算朔望、交食时刻，而没有考虑月行迟疾的问题。直到东汉末年，刘洪才在贾逵等人工作的基础上对月行疾迟规律做了进一步研究，他提出了近点月长度的计算方法，给出了具体数值，并在所编乾象历中运用定朔推算朔望、交食时刻。但这已是贾逵等人的发现100年以后的事情了。

三、主张历法必须不断改进



后汉四分历的编制者编䜣、李梵为纠正太初历的误差进行了大量的工作，四分历颁行以后，又经过包括贾逵在内的各方面专家多次检验、修改，“历数遂正”，“验元有差跌”。贾逵用太初历和四分历分别考察了不同时期的日食，发现从汉初到太初元年的23次日食，按太初历有17次在朔日，4次在晦日，2次在初二；而按新历只有7次在朔日，14次在晦日，2次在初二。从太初元年到更始二年(23)的24次日食，太初历有14次在朔日，10次在晦日；而新历有16次在朔日，7次在初二，1次在晦日。从建武元年(25)到永元元年(89)的23次日食，太初历是5次在朔日，18次在晦日；新历是17次在朔日，3次在晦日，3次在初二。而以新历上考察春秋时期的24次日食，竟有23次不在朔日。这说明，太初历与太初元年前后的天象符合得比较好，而新历只能与太初元年以来的天象符合得较好。根据上面的考察结果，

① 《新唐书·历志》载《一行历议》。



贾逵指出："太初历不能下通于今，新历不能上得汉元。"一时测定的历数不可能长期使用下去。因此，他主张必须经常进行天象观测和历法改革，才能保证历法符合天象。贾逵这种实事求是、不断革新的科学态度，与主管官方天文机构的太史官的墨守成规的昏庸作风形成了鲜明的对照，在当时是难能可贵的。

至于一部历法为什么会时间一长就不准确了，贾逵的解释是，这是由于"天道参差不齐"，各种天体的运动周期长短不一，而且不是整数，编历的人以 76 年为一蔀，虽然能使各种周期的余分大致累积成一个整日数，但与天道实际并不完全密合。由此可见，贾逵虽然不能准确指出问题原因之所在，但他对于当时的天文测量和治历水平太低，不能精确地掌握天体运动规律这一点，则是比较清楚的。本文前边已经指出，太初历产生后天误差的主要原因是岁实和朔策太大。后汉四分历纠正太初历后天的主要办法是更改历元，而它所使用的岁实 $365\frac{1}{4}=365.25$ 日，朔策 $29\frac{499}{940}=29.53085$ 日，与太初历的数据差别甚微，同样大于实际数值。这样，时间一长也会发生后天的现象。所以，贾逵主张历法必须不断改革以符合天象，是适应其所处时代天文学水平的一项很必要的措施。

四、对冬至点移动的认识

我国古代天文历法工作者都十分重视冬至点位置的测定，因为冬至点是我国古代天文学的一个基本点。从史料记载可知，战国时代已开始进行这项工作，当时测定的冬至点在牵牛初度。如战国文献《逸周书·周月解》记云："惟一月既南至……日月俱起于牵牛之初。"先秦古历颛顼历定立春时刻太阳在营室 5 度，立春离冬至是 46 日。按二十八宿古距度计算，营室 5 度离牵牛初度也正是 46 度。按当时太阳日行 1 度的认识，立春时太阳在营室 5 度，冬至时刻应在牵牛初度。按岁差理论推算，冬至点在牵牛初度这个数值与公元前 450 年左右的天象相符。



由于岁差的原因，冬至点不断沿黄道缓慢地西移，每年约移动 $50''.2$。在中国古代天文观测技术不很精密的情况下，这种移动在短时期内不大容易被人们觉察到。所以，西汉以前人们对岁差现象毫无认识。冬至点在牵牛初度这个数据自战国时代测定以后，一直使用了好几百年。直到西汉制定太初历时，人们才实测到冬至点位置的新数据，这就是《汉书·律历志》所载的"元封七年（即太初元年）……十一月甲子朔旦冬至，日月在建星。"但是后来，当刘歆将太初历改编成三统历的时候，他却在传统观念的束缚下不敢明确肯定这一点。虽然他自己也已观测到冬至点在"牵牛之前四度五分"，但在三统历中仍然以牵牛初为冬至点进行推算。他只是含糊其词地说，日月五星经过一元（即 4617 年）以后将"进退于牵牛之前四度五

分”，以此暗示冬至点已不在牵牛初度。

到这次制定后汉四分历的时候，天文工作者们经过反复观测，确认冬至点在斗 $21\frac{1}{4}$ 度，距离牵牛初已有 5 度之差。后汉四分历采用了这个新数据。从此以后，冬至点在牵牛初度的陈旧观点才终于被人们完全抛弃。对于当时天文学的这一进步，贾逵明确地表示了肯定和支持。但需要指出的是，他对于事情本质的认识却是完全错误的。贾逵认为，冬至日从来就是在斗 $21\frac{1}{4}$ 度这个位置。在过去使用二十八宿古距度的时候，因为斗宿古距度是 22 度，斗 22 度与牵牛初度为同一经度，那时所说冬至在牵牛初度，也就是指的在斗 $21\frac{1}{4}$ 度。太初历斗宿距度改为 26 度 385 分，牵牛初度才与斗 21 度之间出现了 5 度之差；如果这时仍然以牵牛初为冬至点，就不合乎天象了，因此应该废弃。所以，贾逵在论历中引用图谶经文作根据，如《石氏星经》曰："黄道规牵牛初直斗二十度，去极百一十五度。于赤道，斗二十一度也。"纬书《尚书·考灵曜》曰："斗二十二度无余分，冬至在牵牛所起。"贾逵认为今测冬至在斗 $21\frac{1}{4}$ 度，与经文图谶的这些说法是相符的。

以上情况清楚地说明，贾逵没有意识到冬至点会移动。他把冬至点位置古今所测数据的不同，解释成是因古今斗宿距度的不同所造成的。斗宿距星没有更改，只是牛宿距星向东移了，使原来属于牛宿的一部分归属了斗宿，这样，冬至点所在的斗 $21\frac{1}{4}$ 度就与牵牛初之间出现了 5 度之差。然而，斗宿距度古今变化的事实并不像贾逵所认为的那样。牛宿距星由古牵牛上星改为后来的牵牛中星，只是向东移了不到 1 度[①]。这就说明，斗宿距度的增加主要是向西扩展了，是斗宿距星由斗魁首星改为魁第四星的结果。唐代一行就曾在《历议》中指出："古历以斗魁首为距，至牵牛为二十二度，未闻移牵牛六度以就《太初》星距也。逵等以末学僻于所传，而昧天象……"批评贾逵在这件事上没有把问题弄明白，对天象做了错误的解释。

贾逵既然承认冬至点位置的数据与以前不同，又不敢相信冬至点会发生移动，就只能对岁差现象做出不恰当的解释，致使一项重大的科学发现轻易从手边丢掉，这是很可惜的。直到东晋，岁差现象才终于被天文学家虞喜所认识，这是距贾逵几百年以后的事了。

综上所述，贾逵为东汉天文学的发展作出了重要的贡献。他所推荐的沿黄道

---

① 唐一行《历议·日度议》曰："古以牵牛上星为距，太初改用中星，入古历牵牛太半度。"



度量日月行度的新发明，关于月行疾迟规律的发现，他的历法改革不能一劳永逸，必须经常进行的思想，他肯定冬至点位置的实测数据、支持废弃不合天象的旧数据的行为，都代表了当时天文学的最高水平。贾逵作为一个职业经学家，在天文学方面也能有如此多的贡献，是十分难得的。当然，受客观条件的限制和传统观念的束缚，使得贾逵对有些问题，如岁实、朔策不精确，冬至点的移动等，还不能有清楚的认识，这是今天不应苛求于他的。

（撰稿人：王胜利）

第八节　张　衡

一、生平和主要天文学成就

张衡是我国历史上最伟大的科学家之一。人们对于他的生平和科学成就做过大量的研究。其中就天文学史而言较重要的作品有：孙文青的《张衡年谱》（商务印书馆 1935 年初版，1956 年再版）；赖家度的《张衡》（上海人民出版社 1956 年初版，1979 年第 3 版）；席泽宗的《张衡》（载《中国古代科学家》，科学出版社 1959 年初版，1963 年修订版）等。这些著作全面研究和介绍了张衡的生平及其各方面的成就。王振铎的《张衡候风地动仪的复原研究》（《文物》，1963 年第 2 期），对地动仪的形状和内部结构做了精辟的研究和阐发。席泽宗的《张衡》（《中国大百科全书・天文学》，1980 年第 1 版）对张衡的天文学成就做了全面、简要的介绍。陈久金的《张衡的天文学思想》（《科技史文集》第 6 辑，上海科技出版社，1980 年第 1 版）对张衡的天文学思想提出了若干新的看法，把张衡研究向前推进了一步（图 2—9）。

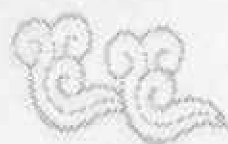


图 2—8　张衡像

根据前人的研究成果我们可以排出张衡的一份简历：

东汉章帝建初三年（78），生于南阳郡西鄂县（今河南省南阳县石桥镇）一个衰落的官宦家庭里。

和帝永元五年（93），出游三辅（今陕西省西安市一带）。



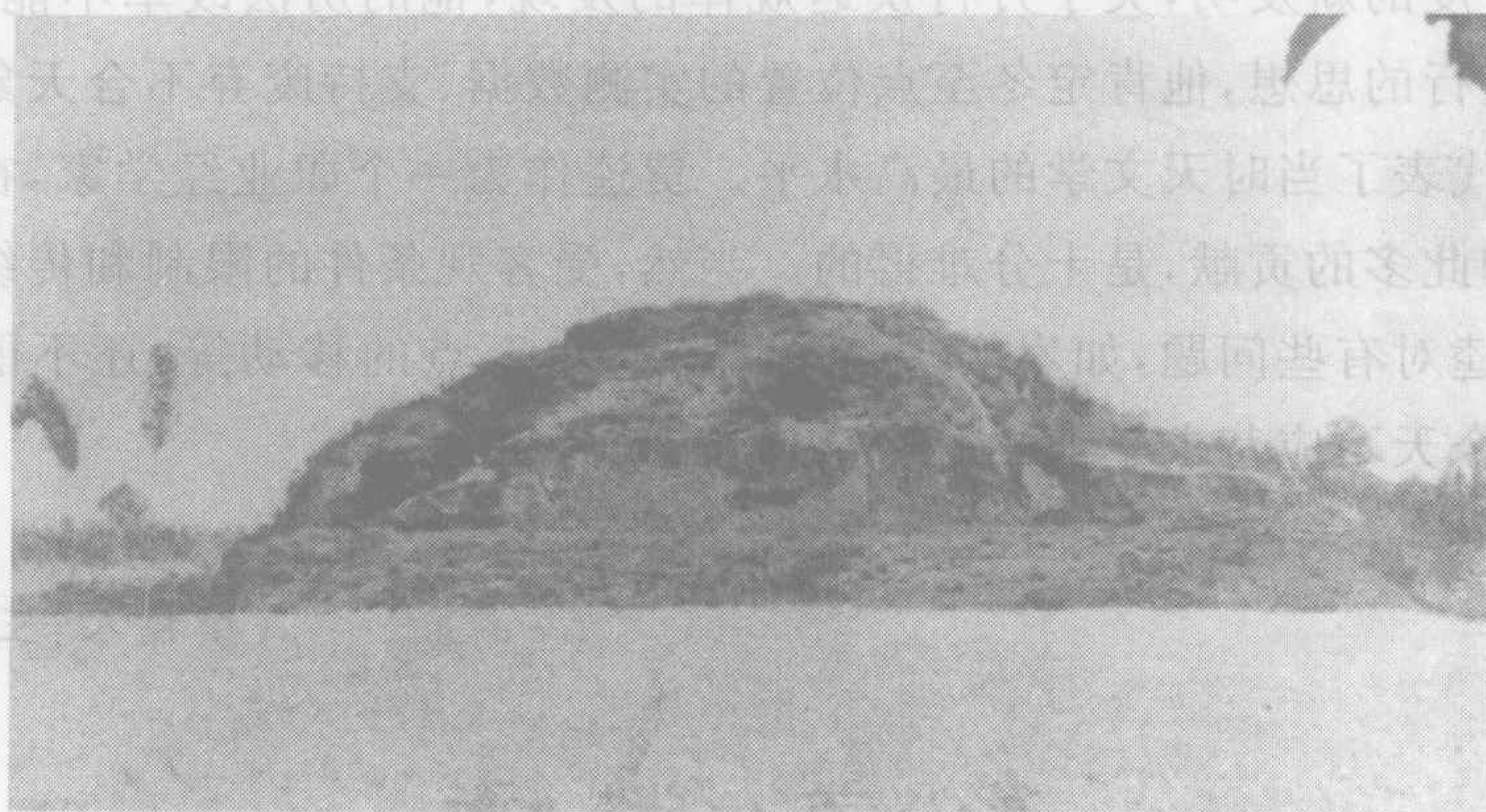


图 2—9　东汉灵台遗址(河南偃师县)

永元七年(95),到京师洛阳,访问太学。

永元十二年(100),就南阳太守鲍德之聘,任南阳主簿。

安帝永初二年(108),鲍德拜大司农后张衡回故居读书。

永初五年(111),受公车特征,拜郎中。

元初元年(114),迁尚书郎。

元初二年(115),迁太史令。

建光元年(121),迁公车司马令。

顺帝永建元年(126),复转为太史令。

阳嘉二年(133),迁侍中。

永和元年(136),出任河间相。

永和四年(139),征拜尚书。逝世。

以上主要依据孙文青《张衡年谱》排出。其他各家所述出入极小。由于有关张衡生平的原始史料留存甚少,就在这少数史料中还有若干模糊甚至矛盾之处,因此,孙文青的《张衡年谱》在许多地方并无确切的依据,而自认是推算、暂系的。不过,既然史证不足,且此中问题大都与天文学史的研讨无大关涉,我们也就不必去穷究不休了。

关于张衡在天文学方面的成就,各家根据他做浑天仪、著《灵宪》等的史料,总结出如下几项:

(1)做浑天仪。此仪相仿于现今的天球仪。但张衡的仪器有一套传动机构,使天球仪与漏壶相联系。利用漏壶流水带动天球仪,使之与天球的转动相应,可以形象地表演天空星象的周日变化情况。此仪还连接有一组叫瑞轮蓂荚的机构。它仿佛是一种机械日历,可以表演每月中历日的推移。这些在历史上都属首创。



(2)发明候风地动仪，比欧洲最早的地震仪早了1700多年。

(3)发展了《老子》、《淮南子》一脉相承的宇宙起源和演化学说，提出宇宙之初是一片无形无色的阴灵精气。由阴灵精气形成浑沌不分、无法量度其迟速的太素之气。从太素之气分化出在外的清气，在内的浊气。清气形成天，浊气形成地。清浊两气互相交会，由此形成万物。张衡的学说更加强调了宇宙本原的物质性，并把浑天学说与之结合起来。

(4)强调宇宙在时间和空间上都是无限的，指出“宇之表无极，宙之端无穷”(《灵宪》)。

(5)指出日、月、行星并不是附着在天球上，而是离天有远近，而且“近天则迟，远天则速”(《灵宪》)，即，用天体离地的距离变化来说明天体运动快慢的原因。

(6)把五大行星分成两类。水星、金星一类属阴，火星、木星和土星属阳。这两类分法与现今所称内行星、外行星的两类相暗合。

(7)早在陈卓之前100多年，张衡就进行了综合各家星官的工作，建立了一个包括320个星官、2500颗星的星官体系，其成就远大于陈卓。

(8)测得日、月的角直径为周天的七百三十六分之一，即29′24″，与近代测定值相差极小①。

(9)指出太阳在大地的另一面会投射出影子，张衡称之为“阇(略)虚”，当月亮进入暗虚，即发生月食。这是我国天文学史上对月食原因的第一次最明确的说明。

(10)反对当时占统治地位的图谶神学，向皇帝上书要求禁绝图谶。

(11)提倡施行当时最先进的历法——九道法，并坚持以天文观测来检验历法的准确性。

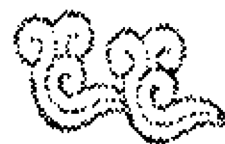
以上是张衡在天文学方面的主要发明和成就。这些发明和成就证明了张衡是一位伟大的天文学家。

如果说对张衡的这些发明和成就的发掘是多少年来学术界共同努力的结果，那么随着近年来天文学史研究的发展，也有一些新的待深入探讨的问题提了出来。

下面我们将着重介绍和探讨这些问题。

二、《灵宪》重考

《灵宪》一书是中国天文学史上的一部经典著作。它包含了丰富的天文学理论和思想。后人之得以认识张衡的天文学成就，除了依据他做的浑天仪之外，主要即依据《灵宪》。这部著作并未单独地留存下来。只是因为梁代刘昭在注《续汉书·



---

① 近代测定的太阳角直径为31′59″，月亮角直径为31′5″。张衡测定的误差最大不超过3′。

天文志》时把它录了进去，这样，它才能够流传至今。多少年来人们一直以为刘昭所录乃是《灵宪》的全文，并无怀疑。只是到了重视考据、辑佚的清代朴学大师们的手里，才在刘昭所录之外找到了几句额外的《灵宪》文句。但他们也只是认为那些乃是刘昭录文中偶然夺落的而已。所以，像辑《全后汉文》的严可均，就把这找得的额外的《灵宪》文句直接插入刘昭录文中去了。

然而，1983 年，四川大学吕子方教授提出，刘昭所录《灵宪》非但不是全文，而且只是一部大书的序文。他还从唐、宋文献中辑出了许多他认为是《灵宪》中的文字。

吕子方这篇题为《〈灵宪〉、〈浑天仪〉探源》[①]的大文章是有启发性的，虽然他本人的论点许多是大可商榷的。所谓有启发性，是因为它使我们必须思考刘昭所录是否《灵宪》全文的问题，从而使研究可能引向深入。所谓可以商榷，则主要是指：刘昭所录乃是序文之说对不对？吕子方所辑是否都是《灵宪》原文？《灵宪》一文的性质和篇幅到底如何？

(1)刘录《灵宪》是否整篇都是序文。吕子方认为“是”的理由乃是根据《后汉书·张衡传》李贤注文：“《灵宪》序曰：‘昔在先王将步天路……”吕子方认为这段话已把刘录《灵宪》“一大段文字，仅仅是《灵宪》一书的序文而已”的事“说得十分清楚”了。接着他又引清人王先谦《后汉书集解》说：

案：本书《张衡传》注引此，乃衡《灵宪》序文也。至衡所作《灵宪》、《算罔论》，章怀谓衡集无之。然郑樵《天文略》引衡说甚备，则其书固在也。

看来，吕子方的观点即来自王先谦。

查《后汉书·张衡传》中李贤在传文张衡“做浑天仪，著《灵宪》、《算罔论》，言甚详明”句后注的全段文字共包含三个内容。第一个内容是引《汉名臣奏》中蔡邕《表志》里“言天体者有三家”的一段话。此与本题无关，不赘引。

第二个内容即吕子方所引述的。今把这段注文抄录于下：

《灵宪》序曰：“昔在先王将步天路，用定灵轨，寻绪本元，先准之于浑天，是为正仪，故《灵宪》作兴。”

细细品味李贤的这段注文，可以断定，李贤认为，《灵宪》有篇序。这篇序的文字应是从“昔在先王”起直到“故《灵宪》作兴”止。那么，这一段文字在刘昭所录的《灵宪》里是怎么样的呢？下面我们也抄录出来：

昔在先王将步天路，用定灵轨，寻绪本元，先准之于浑体，是为正仪立度。而皇极有逌建也，枢运有逌稽也。乃建乃稽，斯经天常。圣人无心，

① 《中国科学技术史论文集》上册，四川人民出版社，1983 年。



因兹以生心。故《灵宪》作兴。曰："太素之前……"

把刘、李两注细一对比即可明白，除了李注所引乃是诘文之外，李贤的概念并没有错，即，从"昔在先王"起直到"故《灵宪》作兴"止的一段文字的确是《灵宪》的序文。尤其是"故《灵宪》作兴"之后接着的一个"曰"字，说明此后的大段文字乃是《灵宪》本文。那么，此前的那段文字当然就是序文了。这一点，从文字章法来看，应该是很清楚的。

因此，吕子方把刘录《灵宪》一整篇文字说成都是《灵宪》的序文，那是不符合李贤原注之意的，也是完全没有根据的。

至于王先谦所说"本书《张衡传》注引此，乃衡《灵宪》序文也"的话，本是没有错误的。但奇怪的是，他又接着说，是章怀太子李贤认为张衡文集中没有《灵宪》、《算罔论》两书。于是，王先谦认为，既然郑樵《天文略》里能引这么多张衡关于恒星方面的话，可见《灵宪》一书当时还存在。这么一来，给读者的印象自然是刘昭所录不是本文而只是序言了。

可是，细查李贤原注，在说了"《灵宪》序曰……"之后的第三个内容[①]，乃是说："衡集无《算罔论》。"进而李贤提出怀疑：《算罔论》不是一篇独立的文字，只是因为《灵宪》一文"网络天地而算之"，所以叫作《灵宪算罔论》。李贤根本没有说过张衡文集中没有《灵宪》的话。事实上，《灵宪》一文当时是存在的[②]，李贤没有必要去讨论张衡文集中有没有《灵宪》的问题。退一步说，如果当时的《后汉河间张衡集》[③]中果真没有《灵宪》一文，那么，李贤的讨论必然会与现传的那条注文大不一样，不可能就这么三四句草草了事。总之，说李贤认为张衡文集中没有《灵宪》，这是王先谦的失误。

(2)对吕子方所辑《灵宪》佚文的鉴别。吕子方共辑录了三节《灵宪》佚文。其中第一节是《恒星天汉行星》，第二节是《州郡躔次》，第三节是《地类》。下面我们对吕子方所辑的文字做一讨论。



①《州郡躔次》这一节，辑自《晋书·天文志上》。文中给出二十八宿和相对应的十二国及十二州，又给出该州内的郡、国所对应的天上的区域。下面列出该文的第一段：

角、亢、氐、郑，兖州：

东郡入角一度，东平、任城、山阳入角六度；泰山入角十二度，济北、陈

---

① 有关这一内容的注文是："衡集无《算罔记》。盖网络天地而算之，因名焉。"

② 《灵宪》不但存于《续汉书·天文志》刘昭注中，而且如《艺文类聚》、《开元占经》等唐代著作中都摘引了《灵宪》中的文句。

③ 书名见《隋书·经籍志》。

留入亢五度，济阴入氐二度，东平入氐七度。

这样的文字合共12段。在这12段正文之前，吕子方在一个括弧中给出一段说明：

（此据《晋书·天文志》所引录出。该志于此章之前标明：'陈卓、范蠡、鬼谷先生、张良、诸葛亮、谯周、京房、张衡并云'。可知乃历代相传之记录。）

范蠡是越王勾践的大臣，活动于公元前5世纪。鬼谷先生是战国纵横家的鼻祖，活动于公元前4世纪。张良、京房是西汉人。张衡是东汉人。诸葛亮、谯周是三国时代的人，活动于公元3世纪初。这几个人前后相距时代有7个世纪。如果真是这几个人都说了《州郡躔次》这一段话，那么可以说这是历代相传之记录，也可以辑入张衡的适当著作之中。

然而研究一下历史地理学的事实就可以发现许多矛盾。首先，这篇《州郡躔次》中所列出的许多郡、国是汉武帝以后所建立的，不用说范蠡、鬼谷先生不可能知道，就是张良也不及见此。他们之作为《州郡躔次》的作者，完全是后人附会的结果。

其次，《州郡躔次》中所列的许多郡国名是东汉以后才出现的。如，兖州的任城国建于章帝元和元年；济北国建于和帝永元二年；青州的乐安国原名千乘国，和帝永元七年才改名的；冀州安平国是在安帝延光元年才改此名的。可是，另一方面，也有些郡国名只存在于张衡成年之前。如，豫州的淮阳郡，于章帝章和二年改为陈国。扬州的临淮郡在明帝永平十五年更名下邳国。徐州的高密国、城阳国，冀州的河间国、真定国，扬州的六安国，青州的菑川国等都在光武帝的时候被撤并。这是时代上的混乱。把应属并州的西河郡、上郡，凉州的北地郡乃至凉州本身，冀州的渤海郡，都列为幽州。把应属徐州的临淮郡、广陵郡，豫州的泗水郡（秦名，汉高祖改名沛国）都列入扬州。把应属青州的菑东国列入了徐州。更令人吃惊的是，把应属并州的云中、定襄、雁门、太原、上党五郡列入了雍州；而把应属雍州或凉州的安定、天水、陇西、酒泉、张掖、武都、金城、武威、敦煌九郡却列入了并州。这些是地理上的混乱。此外，信都国是汉高祖所定，到安帝延光元年改名安平国。可是《州郡躔次》中却误会成两个地名了。如此等等的混乱是十分惊人的。我们很难想象这会是出于大科学家张衡的笔下①。只有一个以研究分野为其主要目标的人，才会不去顾及上述种种矛盾。这个人我们认为是陈卓。

就在《晋书·天文志》的《州郡躔次》节之前，有一节《十二次度数》。这一节里



① 《州郡躔次》中还有魏晋时代的郡名，如冀州的广平郡即是。这种郡名张衡又怎能知晓？



的开头一段说道：

> 十二次。班固取《三统历》十二次配十二野，其言最详。又有费直说《周易》、蔡邕《月令章句》，所言颇有先后。魏太史令陈卓更言郡国所入宿度。

所谓"郡国所入宿度"，就是《州郡躔次》中的某郡国入某宿某度。这一段话点明了《州郡躔次》中的这一部分内容乃是陈卓的作品。

而张衡相传的历代之记录，最多只能是"角、亢、氐、郑，兖州"之类以二十八宿配十二野、十二州这方面的话。

②《恒星天汉行星》这一节共辑有53段。其中51段辑自南宋郑樵的《通志・天文略》，一段辑自清《古今图书集成・乾象典・星辰部・杂录》，一段辑自《隋书・天文志》。

细一核对可知，从《通志・天文略》所辑的部分颇有遗漏。不过，所遗漏的部分和已辑出部分的性质是一致的，所以，不必细论。

《古今图书集成》所录一段直书引自张衡《灵宪》，引文如下：

> 三公在天为三台，九卿为北斗。

这一段与刘录《灵宪》，与《通志・天文略》所引张衡的话相比，风格迥然不同。一般古代的天文著作，讲到星，都是以星象比地上某物、某官，鲜有反其道而行之的。比如上引的两句话如确是天文著作中的语句，则应当说："三台为三公，北斗为九卿。"而今这两句却是以地上的官为主语，找天上的星象。这种与一般天文著作文风相异的句子，能否是《灵宪》中的语句是大可怀疑的。我们倾向不是。

至于辑自《隋书・天文志》的一句则肯定不是张衡《灵宪》的原话。吕子方所辑为：

> 北极纽星为枢。

查《隋书・天文志》，这一句全文为：

> 贾逵、张衡、蔡邕、王蕃、陆绩，皆以北极纽星为枢，是不动处也。

这又是一种一批作者的话语。说每个作者都一字不易地说了上述这一句话，这似乎是很难想象的。查刘录《灵宪》，其中有说：

> 天有两仪，以舞道中。其可睹，枢星是也，谓之北极。在南者不著，故圣人弗之名焉。

显然，《隋书》就是根据这段话把张衡也列入了上述引语的"作者"行列中的。其实，《隋书》也并不以他们为那句话的作者，不过是认为他们都有那样的概念罢了。所以，《隋书》用的是"皆以"两字，而不说"皆曰"。

③《地类》这一节，吕子方从《艺文类聚》、《初学记》、《太平御览》等唐宋类书中



辑出两段。

《艺文类聚》卷六所引的一段,与《太平御览》卷一五七所引的内容、文字全同。说的是昆仑东南有赤县之州,那里气候如何优越等。奇怪的是《艺文类聚》所注的出处是"张衡《灵宪图》"[①]。诚然,《旧唐书·经籍志》载有"《灵宪图》一卷,张衡撰",《新唐书·艺文志》也记载"张衡《灵宪图》一卷"。说明唐代确实存在一种叫《灵宪图》的书。然而,《后汉书·张衡传》和《隋书·经籍志》都只称张衡所作为《灵宪》,并无任何证据表明《灵宪》原著有许多图,尤其它不以图著称。再考虑到古人著述都讲求节约用字,那么可以推论,如果说把张衡的《灵宪》变成了《灵宪图》,那就意味着有人给《灵宪》添加了图,而绘图者的名字则失传了。既然能给《灵宪》加图,自然也能加字。因此,《艺文类聚》卷六所引《灵宪图》里的话是否《灵宪》里的原话,那是大可怀疑的。

此外,明张溥在辑纂《汉魏六朝百三名家集·张河间集》时,把上述那段引文列入了张衡的另一篇著作《灵应》之中。这也是一种对它属于《灵宪》之说的否定。

至于另一段从《初学记》中辑出的话,只有极简单的八个字:"中州含灵,外制八辅"。这种文学性的字句与天文学无大关涉,兹不深究。

综上所述,吕子方所辑的文字中可以考虑是张衡天文著作中文字的,主要有《通志·天文略》中的五十一段和《晋书·天文志》中关于二十八宿与十二分野的十二句。

(3)《灵宪》的性质和篇幅。吕子方在提出刘录《灵宪》只是一部大书的序文的同时,又引述《隋书·天文志》里的话:"张衡为太史令,铸浑天仪,总序经星,谓之《灵宪》。"吕子方认为,既然《灵宪》总序经星,当然就要详细记述天空中所列各恒星及其相互位置,或者像《甘石星经》那样将诸星一条一条地加以叙述;或者像《史记·天官书》那样分中、东、南、西、北加以记载。这件事更加强了他对刘录《灵宪》只是序文之说的信心。



可是细读《隋书·天文志》后,又使人怀疑。今把有关一段全文抄录于下:

> 后汉张衡为太史令,铸浑天仪,总序经星,谓之《灵宪》。其大略曰:"星也者,体生于地,精发于天。紫宫为帝王之居,太微为五帝之坐,在野像物,在明像官。居其中央,谓之北斗,动系于占,实司王命。四布于方,为二十八星,日月运行,历示休咎。五纬经次,用彰祸福,则上天之心,于是见矣。中外之官,常明者百有二十,可名者三百二十,为星二千五百,微星之数万一千五百二十,庶物蠢动,咸得系命。"而衡所铸之图,遇乱堙灭,

① 通常认为《艺文类聚》的引书较《太平御览》严谨。



星官名数，今亦不存。

读者可以看到，《隋书·天文志》只是把《灵宪》称作"总序经星"，而且举出了有关总序文字的大略，与刘录《灵宪》一对比，即知这段大略就是刘录《灵宪》中的摘录。所谓"大略"就是摘录，并不是说"总序"了经星之后还有详细的各个恒星的分叙。而且，从上述引文的最末两句来看，似乎如果要有什么关于恒星的分论，那大约也是与浑天仪有关，而并不与《灵宪》相干。

细读刘录《灵宪》，可以体会到这是一篇已经完整的文字。有序文，有正文。正文中有宇宙的演化，天地的结构，恒星、日、月、流陨、彗星等天体的运动，囊括了当时的重要的天文学知识，提出了许多新的观点。虽然不能排除在古书传抄流传的过程中可能有错讹和脱漏的字句，但是似乎还没有理由认为其中有重大的、大片的夺落。尤其不可想象会脱落像《通志》里所载的那么多关于恒星、银河、行星等方面的字句，也难以想象会脱落像《隋书》所载十二分野那么长篇的字句。

如果非要说《通志》《晋书》所载是《灵宪》里的文字，那么只有一种可能，即：刘录《灵宪》只是一篇总论，在总论之下还有各种分论。如果是这样的话，那《灵宪》当是一部篇幅很大的著作。

然而，从《隋书·经籍志》起，历代任何一种目录著作，都认为《灵宪》只有一卷。尽管古代著作的一卷并无篇幅限制，然而像遇到总论、分论那样的文体，那是必然要分卷的。因此，如果说《通志》《晋书》里辑得的竟是《灵宪》里的文字，那《灵宪》就绝对不能只有一卷。而这是完全不可能的。所以说，《通志》《晋书》里的张衡的话不可能是《灵宪》里的内容。事实上，上述两书都只说是张衡的话，并未说是张衡《灵宪》的话。而张衡的著作众多，就是天文著作也并不只是《灵宪》一种。因此，一见张衡有关天文的话，就判定是《灵宪》所说，这是完全站不住脚的。



除此之外只剩下两种可能。

一是伪作。即《通志》《晋书》所述张衡之说实际并不是他说的。关于这一点我们并无有力的证据。虽然《通志》是南宋初年的作品，然而，既然唐、宋时代张衡的天文著作一直存在，我们也就无法断然否定史学大家郑樵所引的确是张衡原著中的话。

一是属于张衡的另一种天文学著作。张衡的其他天文著作中最有名的当是《浑仪》或《浑天仪》，当然，现在也有人提出《浑仪》非张衡所作。不管《浑仪》是否确系张衡所作，在我们看来，《通志》《晋书》所述可能都是这部著作中的话语。

查唐《开元占经》卷六五"天市垣占十三"节中引有：

张衡《浑仪》曰："天市二十二星，帝座前有一耳。"

同书卷三六"填星犯尾六"节中记有"《浑仪》曰"的三句话。由此可见张衡《浑仪》应该有关于恒星和行星方面的具体话语。另外，在浑仪（此处指演示用的天球仪型仪器）

上画注有十二分野，也是极有可能的事。现今传世的古代星图(如，苏州宋代石刻天文图等)有的就画有十二分野。仪器上画了，在文字加以记载就是很自然的事了。

总结这一节的讨论，我们判定，刘录《灵宪》是一篇完整的文字，可能有片言只语的遗漏夺落，但不大会有长篇的佚失。吕子方所辑主要部分可能是张衡《浑仪》中的文字。

三、关于《浑天仪注》的争论

《浑天仪注》是中国古代一派宇宙理论——浑天说的经典著作，张衡是古代著名的浑天家，他又创制过浑天仪，因此，许多年来人们自然地把《浑天仪注》的作者归之于张衡。唐、宋以来鲜有异说。然而到了20世纪80年代，陈久金经过细致的分析与研究，提出了《浑天仪注》不是张衡所作的论点。他的代表作发表在《社会科学战线》1981年第3期上，题为《〈浑天仪注〉非张衡所作考》。陈久金的论点在天文学史界引起了很大的争论。3年之后，在同一刊物的同一期号上，刊出了陈美东的文章：《张衡〈浑天仪注〉新探》，对陈久金的论点展开争论。这两篇文章都有许多细微入理的分析，把对张衡的研究引向了深入。

(1)说《浑天仪注》非张衡所作的主要理由。陈久金提出的主要理由如下：

①《浑天仪注》认为地是球状的，天大地小，地靠水的力量浮在天中央。而张衡在《灵宪》中则认为地是一面平整的半个天球。《灵宪》中也像《周髀算经》一样，主张圭表的影长千里差1寸。而《浑天仪注》则没有这种观点。

②蔡邕、陆绩、王蕃都撰写过有关浑天说的著作。他们的著作中都没有提到《浑天仪注》这部书。他们的观点不断有所进步，但是，《浑天仪注》比他们的著作都更进步、更详细和更全面。从发展次序来说，《浑天仪注》应该最晚出。

③《浑天仪注》中记载着“此历斗二十度”、“此历井二十三度”这两个冬至点和夏至点的宿度。根据岁差原理算得，这是张衡之后100多年的天象记录。

④蔡邕在《表志》中说：浑天仪“官有其器而无本书”，“臣求其旧文，连年不得”。刘宋时颜延之在请立浑天仪表中说：“张衡创物，蔡邕造论。”《宋书·天文志》中则说：“陆绩善天文，始推浑天仪。”《晋书·天文志》在引述《浑天仪注》时不提作者名字。唐初李淳风的《乙巳占》中则以《灵宪》为张衡浑天思想的代表。这些都从一个侧面表明，《浑天仪注》非张衡所作。

(2)重新肯定《浑天仪注》是张衡所作的主要理由。陈久金的四点理由中，一度人们曾认为，最主要的是《浑天仪注》中所记的冬、夏至点位置[①]。因为这是可以用

---

① 例如，本文作者之一过去就持这个观点。参见中国天文学史整理研究小组编著的《中国天文学史》，科学出版社，1981年。



近代天文学的岁差方法进行计算的。既然计算结果表明应是张衡之后100多年的记录，则当然成了非张衡所作的铁证。

陈美东的重新肯定却正是首先从否定这条“铁证”开始。他指出，《浑天仪注》共分两个部分。占了大部分篇幅的第二部分讨论的主题是关于黄赤道进退数的量度与计算法。在这一部分末尾提出的冬至“此历斗二十度”，夏至“此历井二十三度”，并不是指该文作者所用历法的冬、夏至点的赤道度数，而是指后汉四分历所用冬、夏至点的黄道度数。如以“此历斗二十度”和“此历井二十三度”为赤道度数，则冬、夏至点之间相差的赤道度数为 $181\frac{13}{24}$度，和古代的半周天 $182\frac{5}{8}$度相比，差了 $1\frac{1}{12}$度。但如以为黄道度数，则冬、夏至点之间相差的黄道度数为 $182\frac{1}{4}$度。与标准度数相比，仅差$\frac{3}{8}$度。此差之产生乃因取用整度数之故。

陈美东又引《开元占经》卷一所载东晋侍中刘智论天时说的一段话：“至汉顺帝时，南阳张衡考定进退。灵帝时，太山刘洪步月迟疾。”而刘洪在《乾象历》中记述的黄赤道进退数又和《浑天仪注》所述的方法完全一致。这就证明《浑天仪注》确为张衡所著。

（3）对二陈论点的评论。陈久金的四点理由中，①、②、④这三点，以常理度之确实是问题。一般来说，科学家的观点，尤其是对重大问题的观点，不会无缘无故地发生变化。后人在进行科学研究时，总会搜集他能找得的前人的有关成果，他的成绩也一定会超过前人。蔡邕、颜延之、李淳风等人都是著名的学者，知识渊博，他们对历史文献、前人功绩等的见解，是应该受到尊重的。至于③，如果陈久金的解释不错，那么，这就是个纯粹的数学问题，它的结果更是不容游移的。



然而，历史事实往往不一定可以常理度之的。比如说，一个科学家的观点是可以发生重大乃至根本变化的。西汉的扬雄原来是主张盖天说的，后来经过桓谭的说服，反而成了坚定的浑天家，提出了著名的“难盖天八事”。所以，如果张衡对地的观念曾经发生过重大的变化，倒也不是不可能的事。又比如说，后人是可能找不到前人的研究成果的，后人的研究成果也还是有可能不如前人的。明代人就看不到一些宋元时代水平极高的数学著作，明代人的数学成就就远不如宋元。再比如，任何一个大学问家都难免有疏漏的时候，更何况古代把天文学著作看成是国家秘籍，收藏于灵台，即使蔡邕那样整理过国家档案库资料的饱学之士，仍然有可能见不到张衡的著作。而且，天文学史上也发生过一部天文学著作失传了几百年之后，又偶然地被人发现的事实，唐代的《开元占经》佚散于宋元，直到明代才被人偶然地在一尊古佛的腹中发现。

至于③，如果陈美东的论点成立，那么陈久金的论点就被釜底抽薪，无法成立了。

因此，陈久金的论点可以促进人们的思考，把天文学史的研究引向深入，但他的正确性却还不是令人无可怀疑的。

那么陈美东的论点怎么样呢？

的确，冬至“此历斗二十度”、夏至“此历井二十三度”是在长篇论述了黄赤道进退度数算法之后提出的。而且在这两个数据之前还给了后汉《四分历》的冬、夏至点赤道度数。因此，从文章逻辑上来说，斗二十度、井二十三度为冬、夏至点的黄道度数，倒也颇为有理。至于根据刘智的话推定张衡是《浑天仪注》作者，这也并非是捕风捉影之说可比。

不过，他的论点也并非是无可怀疑的。

为了讨论他的第一个论点，必须把《浑天仪注》的最后几句抄录如下：

> 以此论之，日行非有进退，而以赤道量度黄道使之然也。本二十八宿相去度数，以赤道为距耳，故于黄道亦有进退也。冬至在斗二十一度少半，最远时也。而此历斗二十度，俱百一十五强矣，冬至宜与之同率焉。夏至在井二十一度半强，最近时也。而此历井二十三度，俱六十七度强矣，夏至宜与之同率焉。[①]

细读这一段，这里有两个“俱”字和两段“宜与之同率焉”。如果说，斗二十度与斗二十一度少半确是同一时代的数据，不过一是黄道度数，一是赤道度数，那么为什么要有这个“俱”字，为什么要说“冬至宜与之同率焉”？反之，如认为斗二十度是另一时代的冬至点赤道度数，那么这“俱”和“宜与之同率焉”等字就有了意义，也即，这都是合着后汉四分历冬至点（赤道度数斗二十一度少半）来说的。夏至点的情况也是如此。



至于用刘智的话来证明《浑天仪注》是张衡作，这个推理似有点逻辑上的毛病。刘智只说了“张衡考定进退”，他并没有说张衡考定的是《浑天仪注》中的进退。刘洪《乾象历》中有与《浑天仪注》方法一样的推算进退的方法，但刘智也并未说刘洪此法是跟张衡学的。反之，人们也可以推测，《浑天仪注》的方法很可能是作者重复创造的。

总之，依我们愚见，二陈之说都有一定的道理，也都未能把问题定死。对这个问题还有深入研究的必要。

(4)我们的一些推测。张衡的或传说是张衡的关于浑仪的著作，最早出现在东

---

① 据《后汉书·历律志下》刘昭注引张衡《浑仪》。

晋葛洪批判王充盖天思想的一大段文字中。这段文字收录在唐初编纂的《晋书·天文志》和《隋书·天文志》中。葛洪所引述的题目叫《浑天仪注》，未冠张衡名字。其中把天和地的关系比作鸡蛋壳和蛋黄的关系，并指出天、地各乘气而立，载水而行。被人们认为是中国科学思想史上地球概念的首次提出。全部问题的重要性就正在这里。

《续汉书·历律志下》刘昭注中引有一篇题为张衡《浑仪》的长达七百字左右的文字。这篇文字的开头几句是讲赤道、黄道和北天极的关系。中间绝大部分篇幅是介绍黄赤道进退度数问题的提出，用模型方法取得数据的经过，黄赤道进退度数的数据变化规律和计算方法。最后几句则是前面已经引述的关于冬、夏至点的位置问题。

其后在唐代瞿昙悉达编撰的《开元占经》第一卷中又载有一篇称为张衡《浑仪注》和一篇称为张衡《浑仪图注》的文字。张衡《浑仪注》这篇共分两节。把第一节的文字和葛洪所引《浑天仪注》相比可知，葛洪所引乃是摘要。他所省摘的是周天度数，地上和地下的天的度数，南、北极位置，常见圈、常隐圈[①]，两极相去度数；为什么称之为浑天的理由。第二节则是相当于刘昭注所引张衡《浑仪》中的开头几句，但是在文中夹了许多小注。这些注语刘昭一字未引。张衡《浑仪图注》则除了个别文字外几乎与刘昭所引张衡《浑仪》完全一样，不过张衡《浑仪图注》比张衡《浑仪》少了开头的几句，而这几句正是上述张衡《浑仪注》的末尾。

此外，在唐代的类书《艺文类聚》卷一中引有一段题为《浑天仪》中的话。《北堂书钞》卷一五〇中引有张衡《浑仪》的一段话。宋代类书《太平御览》卷二中引有一段《浑天仪》、一段张衡《浑天仪》。这些引文除个别有异之外，都见于前述从葛洪到《开元占经》所引的有关文字中。

从上述近乎繁琐的介绍中可以看出，张衡或传说张衡所作的有关浑仪的论文题目，在后世已变得相当混乱。有《浑天仪》、《浑天仪注》、张衡《浑仪》、张衡《浑仪注》、张衡《浑仪图注》等。如果再加上我们在讨论《灵宪》章中提到的《浑仪》一题，则共有六个题目。而各书所引论文文字之间大多有联系。这就使过去的研究者得到一种错觉，认为不管这些题目如何变化，所引文字有何差异，它们都出于一个母本。清朝人就把它们都辑在一起了。[②]

但我们却有一点不成熟的想法，它们可能虽然是出于一个根，但却不是一个母本。

试看这些题目：《浑仪》，可以是《浑天仪》的简省写法。张衡《浑仪》，可以是强调

① 原文中称常见圈为“北极上规”，常隐圈为“南（极下）规”。

② 见严可均：《全上古三代秦汉三国六朝文》卷五五；洪颐煊：《经典集林》卷二七。上两书中都题为《浑天仪》，以张衡为作者。

张衡所作的《浑仪》，或强调介绍张衡制造的浑仪（按现代文字，此义应写作《张衡浑仪》。但古文无标点符号，都是写作“张衡浑仪”）。然而，在“浑仪”或“浑天仪”之后加上一个“注”字或“图注”两字，则应该认为是无“注”或“图注”的原本添加了注和图注的结果。历史上有名的《水经注》就是大地理学家郦道元（466 或 472—527）对《水经》加注而修成的。《水经注》的根是《水经》，但却比《水经》多出了许多倍，两者在科学上的重要性也是不可同日而语的。在中国古代文献中这一类的情况很多。张衡《浑仪》和张衡《浑仪注》，也很可能是这样的情况。所不同的是作注者名已佚失。

而张衡《浑仪注》中确实可以看到许多小注。这些注文在清人严可均、洪颐煊等人的辑佚中，居然都作为张衡原文辑进去了。以考据见长的清代朴学大师们尚且会犯如此重大的错误，又何论更古的 1000 多年前的人呢！

因此，我们的不成熟看法是，张衡做了浑天仪这件出色的仪器之后，写过一本说明书，题目就叫《浑天仪》。于是，范晔在撰《后汉书·张衡传》时只用了“做浑天仪”这四个字就包括了这两件事。《浑天仪》一书在后世曾被一个佚名的人作了注，因此又成了《浑天仪注》。作注的时代大约如陈久金的推测，在西晋。由于作注者佚名，所以葛洪只能直书《浑天仪注》；由于原作者张衡享有盛名，因此，后人引《浑天仪注》时仍会把张衡名字列上。或许，古代如果有标点符号的话，人们很可能标成《张衡〈浑天仪〉注》和《〈浑天仪〉注》。另外，如果人们直接从《张衡集》中去征引《浑天仪》的文字的话，他当然可以仍然标明：《浑天仪》、《浑仪》或张衡《浑仪》、张衡《浑天仪》。

那么，何为注文，何为原文？这个问题就更难回答了，因为张衡的原作——《张衡集》没有留存下来，没有可以用来作判别的标准。我们仍然只能推测。

鉴于《开元占经》所载张衡《浑仪注》中的第二节里确实有小注，而它的原文则全合《续汉书·律历志下》刘昭注中所引的张衡《浑仪》。因此我们认为，刘昭注中所引的张衡《浑仪》很可能是原本。当然，在这样假设的时候，必须解决我们在上一节中提出的两个“俱”字和两个“宜与之同率焉”的问题。而这个问题，还需求教于明智的读者。



至于众所关心的葛洪引《浑天仪注》或《开元占经》引张衡《浑仪注》中的第一节，究竟是原文，还是注文；哪几句是原文，哪几句是注文，有待贤者的明察。

四、其他有关张衡的争论

其他有关张衡的争论问题尚多。

其中最主要的，也是最重大的一个争论是：张衡对地的观念如何？究竟他认为地是平的还是球状的？这个问题首先依赖于《浑天仪注》或张衡《浑仪注》是不是张衡所作这个问题的解决。试想，如果《浑天仪注》不是张衡所作，或其中关于地的文



句不是张衡的原文，则认为张衡有地球概念的论点就完全站不住脚了。不过，在作者看来，张衡即使说过"地如鸡中黄"这样的话，那最多也只能说他是有一种极为朦胧的地球思想。它主要属于臆想，而不属于经验科学，更不是一个清晰的数学、物理模型。隋唐以前的浑天家都认为北极出地是固定的。许多人认为是出地36度。在很长时期内没人认识到南北相距很远的两个地方，北极出地是不同的。唐代天文学家一行就对此提出过批判。他指出："北方之极浸高。"对这种现象浑天家"未能有以通其说也"①。其所以不能通，是因为古代浑天家始终没有摆脱地平的数学模型，没有建立起地球的数学模型。

另外一个问题是一个争论了好几百年的老问题。古代有一篇《周天大象赋》，有人说是张衡著，也有人说不是张衡而是隋天文家李播著。今人吕子方曾花了很大力气考证，认为是张衡著。但据我们看来，这篇《周天大象赋》肯定不是张衡作的。理由很简单，在这篇赋中所提到的星官没有超出三国时代吴太史令陈卓所总结的283官的范围。而张衡在《灵宪》中定的星官"可名者三百二十"，比陈卓所定多了37官。这37官在《周天大象赋》中一点没有反映。所以，这篇赋绝不可能是张衡作的。

随着研究工作的深入，大概还会有新的争论提出。而争论又将把研究更进一步引向深入。尤其盼望的是，我们能从我国丰富的地下文物宝藏中发掘出张衡的珍贵著作来，这将使我们更清楚、更如实地了解这位伟大科学家的功绩和经验。

（撰稿人：薄树人、陈鹰）

第九节　刘　洪



一、刘洪的生平与前人对刘洪的评介

"刘洪，字元卓，泰山蒙阴人。鲁王之宗室也。延熹（158—166）中，以校尉应太史征，拜郎中，迁常山长史，以父忧去官。后为上计掾，拜郎中，检东观，著作律历记，迁谒者，谷城门侯，会稽东部都尉。征还，未至，领山阳太守，卒官。"②这是史籍中关于刘洪身世、经历的最详细记载，依此并兼及其他零散的历史资料，我们还可以更具体地勾画出刘洪生平的大体轮廓，对此已有专文论及③，这里仅将其结果引述如下：

① 《旧唐书·天文志上》。

② 《续汉书·律历志中》注引《袁山松书》。

③ 陈美东：《刘洪的生平、天文学成就和思想》，《自然科学史研究》，1986年第2期。

公元158—166年中，刘洪已在历算方面崭露头角，遂以校尉应太史之征用，升为郎中，刘洪约生于公元129年左右。在应太史征后，刘洪积极参加天文工作，其中以公元173年参与测定二十四节气日所在宿度、昼漏长度和昏旦中星度等最为重要。公元174年，刘洪又迁常山长史，并献上他的天文学著作《七曜术》，其后二年曾因父亲去世守孝在家。公元176年刘洪为上计掾，拜郎中，该年又献上天文学新著《八元术》。公元178年，奉诏在东观与蔡邕共撰东汉律历志。公元179年又迁谒者，稍后又为谷城门侯，其间多次积极参加有关天文历法问题的争论。约公元184年，刘洪迁会稽东部都尉，其间初成并献上乾象历。约公元190年，领山阳太守，随后又任曲城侯相。于公元206年，最后完成乾象历，它是刘洪经几十年的观测研究的结晶。约于公元210年刘洪去世。

刘洪在天文学上的贡献是多方面的，而且大都具有划时代的意义。无论他的同代人，还是历代的历法家，或是近现代的中外学者，都给刘洪的天文学成就以崇高的评价。与之同时的著名学者蔡邕、郑玄等，对刘洪均十分推崇。蔡邕在《戍边上章》中提及，由于刘洪“密于用算，故臣表上洪，与共参思图牒”[①]，经分工合作，才得以完成后汉律历志的编写工作。郑玄则以为刘洪的乾象历“穷幽极微”，他躬身“受其法”，“又加注释焉”[②]。稍后，刘洪的一个学生徐岳曾对刘洪的贡献做了较全面的概括。他指出，经长期的观测与检验，刘洪发现前历“疏阔，皆由斗分多故也”，“又为月行迟疾、交会及黄道去极度、五星术，理实粹密，信可长行”，在谈及对日食的预报时，徐岳以为“刘歆以来，未有洪此。”这些概括是他学习乾象历并与以往的历法加以对比研究而得的心得之言，以致我们以下的论述，大抵只是以之为纲，稍展开讨论而已。



至于乾象历对后世历法的影响，唐代李淳风指出：“自黄初(220—226)已后，改作历术，皆斟酌乾象所减斗分、朔余、月行阴阳、迟疾，以求折衷。洪术为后代推步之师表。”这种说法是有一定道理的，因为这里提及的乾象历的成就确系刘洪首创，为后代的进步开拓了新路。

隋、唐、宋、元各代，许多历法家都对刘洪的成就，和在历法史上的地位给以很高的评价，只是所论各有侧重。如北宋周琮在列数他以前历法的九项最重大的创造时，将“后汉刘洪作乾象历，始悟月行有迟疾数”[③]，列为其中之一项。又如，清代李锐曾详注乾象历术，这是对刘洪贡献的无言赞许。

近现代中外学者，对刘洪的天文学贡献亦多有论述，如朱文鑫、钱宝琮、严敦

---

① 《续汉书·律历志下》引。

② 《晋书·律历志中》，以下引文凡未注明文献出处者，均引自《晋书·律历志中》。

③ 《宋史·律历志八》。



杰、陈遵妫，英国的李约瑟、日本的薮内清等，均给以很高的评价，但其说多失之零散或简略，并尚有可补充或商榷之处。为使读者能对刘洪的天文学工作有较全面的了解，特分别讨论如次。

二、朔望月、回归年长度的测定

自春秋末出现四分历以来，到刘洪的 600 多年间，我国古代对于朔望月和回归年长度的测算，一直没有取得什么进展。1 回归年长度 $=365\frac{1}{4}$ 日，19 年 7 闰法和一朔望月长度 $=29\frac{499}{940}$ 日，几乎成为传统的历法要素。其间(公元前 104—前 85 年甚至出现过倒退现象，这就是太初历所采用数值：1 回归年长度 $=365\frac{385}{1539}$ 日(365.2501625 日)，1 朔望月长度 $=29\frac{43}{81}$ 日。把原先就已经偏大的数据，更增大了。虽然刘歆曾得到回归年长度的较好数值[①]，但他的三统历依旧沿用太初历的数据，造成了长时期内历法后天的现象。这期间，交食多发生于晦，甚至先晦一日或二日，便是明证。这一情况引起了刘洪的关注，经过 20 多年的观测与研究，刘洪得到了极重要的成果，在乾象历中他给出了朔望月和回归年长度的新数值，标志着对这两个基本天文常数研究的新时代的到来，刘洪以 $29\frac{773}{1457}$ 日为 1 朔望月的长度，误差从前历的 20 余秒降至 4 秒左右，以 $365\frac{145}{589}$ 日为 1 回归年的长度，误差由前历的 660 余秒降至 335 秒。[②] 刘洪这两项新成果的意义，不仅在于其本身精度的提高，还在于他首次打破了长达 600 余年的停滞徘徊状态，从而为后世的进展开辟了道路。



徐岳曾谈及后汉四分历和乾象历的回归年长度值，是如何分别在太初历和后汉四分历的基础上，加以修正而得的。他说，由太初历改为后汉四分历时，“学者务追合四分，但减一道(即一岁)六十三分，分不下通”(如上所述，四分历的回归年长度小于太初历 0.0001625 日，所以，这里“六十三分”应是“百六十三分”之误)。他接着又说，刘洪是在四分历回归年长度的基础上“减十斗下分”，而得乾象历的回归年长度值。我们可由反推法，来理解这句话的意思。乾象历回归年长度的余数为 $\frac{145}{589}$ 日(145 即称斗分)，以其乘 4 得 $\frac{580}{589}$ 日；若也以 589 为分母，后汉四分历的斗分

---

① 中国天文学史整理研究小组：《中国天文学史》，科学出版社，1981 年，第 78 页。

② 陈美东：《论我国古代年、月长度的测定》，《科技史文集》第 10 辑，上海科学技术出版社，1983 年。

应为147.25,也以4乘得$\frac{589}{589}$日。以后者减去前者得$\frac{9}{589}$。这样看来,“减十斗下分”,应是“减九斗下分”之误。其意思是:乾象历四年斗分之和,是由后汉四分历四年斗分之和减去九而得的。从表面上看,这似乎便是乾象历回归年长度获得的方法。但我们认为,这并不是刘洪确定回归年长度值的实质性方法,而仅是乾象历与四分历所取回归年长度之差值的说明。

我们知道,是因为后汉四分历的制定者们,经过观测发现:“日发其端,周而为岁,然其景不复,四周千四百六十一日,而景复初,是则日行之终”[1],于是得1回归年长度为$\frac{1461}{4}$日。而不是所谓“务追合四分”,减太初历的斗分“百六十三分”而得的。同理,我们认为刘洪也应是以实测为依据,而求得回归年长度值的。鉴于当时晷影测量的方法并无实质性的进步,和刘洪对月亮运动研究的很深造诣等理由,我们认为,刘洪是在测算得朔望月长度的基础上,由19年7闰法,反求得回归年长度值的。关于这一点,以及刘洪对回归年与朔望月长度的研究,陈美东《论我国古代年、月长度的测定》一文均有较多的说明,恕不赘述。

三、月亮运动的研究

上述朔望月长度之测算,是刘洪关于月亮运动研究的重大成果之一,但他在这一领域的贡献远不止于此。在前人工作的基础上,对于月行迟疾——月亮运动的不均匀性,和月行阴阳——包括黄白交点的退行和交点月长度的探索,以及黄白交角和月亮去极度数的测算等内容,在这两大方面,刘洪都进行了开拓性的定量研究,取得了极重要的科学成果。



(1)近点月长度的测量和月行迟疾表的制定。东汉早期的天文学家李梵、苏统等人发现了月亮经一近点月,其运行最快的一点——“疾处”(今称近地点)向前推进了3度[2],这一重要发现,是刘洪对月行迟疾定量研究的先声。刘洪的功绩在于第一次明确地给出了近点月长度的具体计算方法和数据。他测算得月亮经一近点月,近地点向前推进$1825\frac{7}{47}$分(≈ 3.1度),刘洪称之为“过周分”。这个数值要比李梵、苏统的结果准确得多。刘洪进而建立了计算近点月长度的公式,并取得明确的结果:

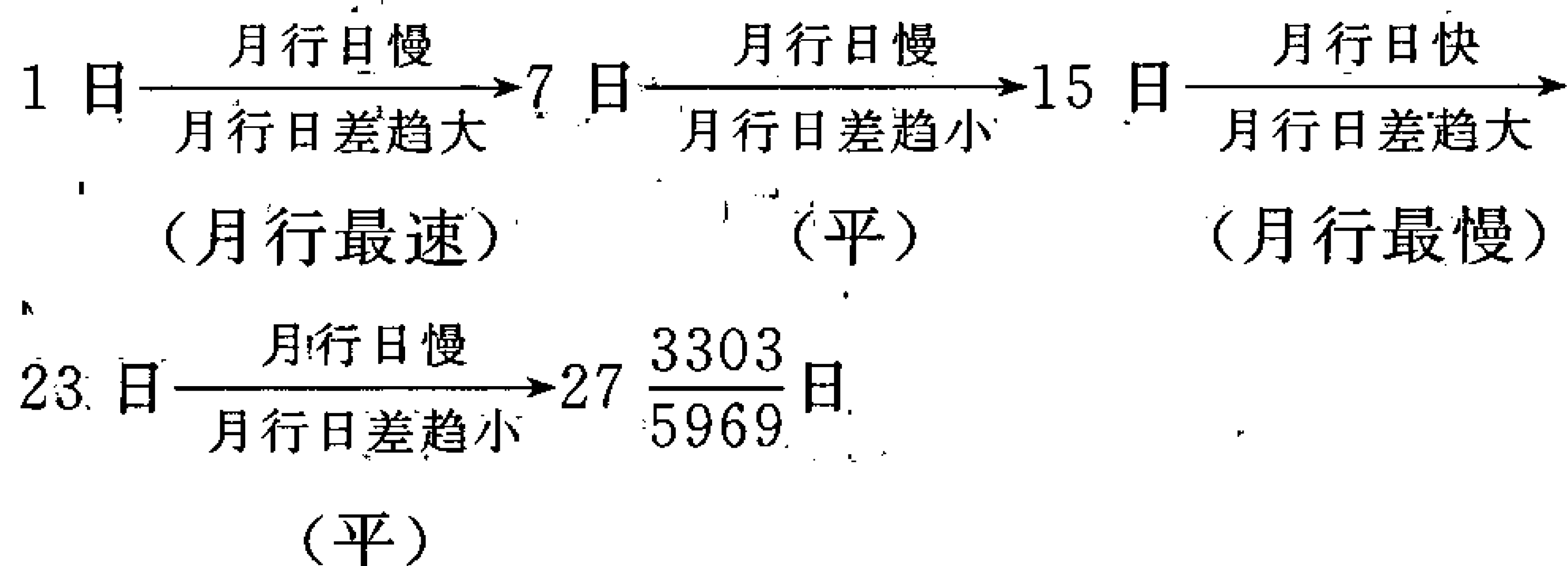
$$1\text{近点月长度}=\frac{\text{周天分}+\text{过周分}}{\text{月周(1日月平行分)}}=\frac{215130+1825\frac{7}{47}}{7874}=27\frac{3303}{5969}\text{日}$$

① 《续汉书·律历志下》。
② 《续汉书·律历志中》。



该值与理论值之差约为104秒①。他的方法为后世所遵用，从而奠定了近点月长度值测算迅速进步的基石。这里顺便指出：李约瑟认为"刘洪预报交食的方法，已知月球轨道经过黄道的交点，称之为'过周分'。"②这一说法显然是把黄白交点的退行（下面我们就要谈到，刘洪称之为"退分"）误解为近地点的推进值，是错误的。

刘洪的功绩还在于，他第一次给出了月行迟疾表，即月亮在1近点月内每日运行动态的表格。其方法是：在一段较长的时间内，测量每日昏明时月亮沿赤道运行的状况，如徐岳所说："昏明度月所在，则知加时先后意。"从月行疾处到下一个疾处为一周期，在取得若干周期的观测值以后，便可求得一周期内月亮每日沿赤道的平均实行的速度——"日转度分"（刘洪以19分为1度，当将"日转度分"化为分值时，又叫作"月行分"）。进而可求得相邻两日间平均月行速度之差——"列衰"。并可"列出每日实行速度超过或不及平均速度的'损益率'，由'损益率'累积而得'盈缩积'等项。某日下的'盈缩积'就是从近地点时起，到前一日止，在这个时间里月实行分数与月平行分数之差"。③ 刘洪的月行迟疾表即包含了"日转度分"、"列衰"、"损益率"、"盈缩积"和"月行分"等五个栏目。其中"日转度分"所列数值，是该表的实质性内容，它表述了刘洪对月行迟疾研究的定量成果。它基本正确地描述了月亮在一近点周内沿赤道平均运行迟疾的状况。刘洪的月行迟疾表，把在一近点月内月行迟疾的平均状况，分为四段加以描述：



这同月亮运行迟疾的大体情况是相吻合的。这种四段分法为后世大多数历法所沿用，其影响是深远的（唐宋时代的若干历法稍有不同，它们的月行迟疾表是从远地点出发的，但四段分法仍不变。当然，后世历法在具体细节上与刘洪的结果略有不同，而且日趋准确）。

(2)黄白交点退行值的测定和对于交点月长度的摸索。刘洪在乾象历中明确地提出了黄白交点退行的概念，并定量地测算得了黄白交点经一日退行的数值，刘



① 陈美东：《论我国古代年、月长度的测定》。

② 李约瑟：《中国科学技术史》第四卷第二分册，科学出版社，1975年，第598页。

③ 钱宝琮：《从春秋到明末的历法沿革》，《历史研究》，1962年第1期。

洪称之为“退分”，它等于$\frac{1488}{47}$分$=\frac{1488}{27683}$度。刘洪还进一步推衍出了一日内月亮离开黄白交点的分值——“日进分”，等于一日月平行分(7874)加上“退分”。由这些成果，刘洪实际上可以建立如下计算交点月长度的公式：

$$\text{一交点月长度}=\frac{\text{周天分}}{\text{日进分}}=\frac{215130}{7874+\frac{1488}{47}}=\frac{10111110}{371566}\text{日}$$

又，刘洪在乾象历中指出：在一个交食周期内，有 11045 个朔望月(“会月”)，它又正好等于 11986 个交点月(“差率”)，由此，实际上也可建立如下计算交点月长度的公式：

$$\text{一交点月长度}=\frac{\text{会月}}{\text{差率}}\times\text{朔望月长度}=\frac{11045}{11986}\times 29\frac{773}{1457}=\frac{10111110}{371566}\text{日}$$

这就是说，这两个计算公式是等价的。然而，刘洪在乾象历中并没有明确给出计算交点月长度的这些公式。但在“推朔入阴阳历”术的首句，刘洪就说：“以会月去上元积月”，其含义是自上元到所求月的“上元积月”，凡满 11045 个朔望月者，因为它正好是经过了 11986 个交点月，月亮又回到原先交点的位置上，所以可以去之。这里实际上使用了一交点月长度$=\frac{10111110}{371566}=27.2121507$日的数值，该值与理论值之差约为 5 秒。[①]

可是，在紧接着“推朔入阴阳历”术的首句之后，刘洪在处理“上元积月”去除若干整会月的余月数时，却采用了另一个交点月长度值。他先设立了若干专用名词：“朔合分”(18328)、“微分”(914)、“微分法”(2209)和“月周”(7874)，这里月周作为



“朔合分”的分母。依术文意，朔望月长度与交点月长度之差应等于$\frac{18328\frac{914}{2209}}{7874}$日，已知朔望月长度为 29 $\frac{773}{1457}$日，两者相减，则知这里的交点月长度应为$27\frac{1597\frac{167}{2209}}{7874}=27.2028290$日。

又，刘洪在“阴阳历”表中，当叙及月亮从一个交点到另一个交点所经日数，即半个交点月长度时，他又认为是等于“十三日”又“分日五千二百而三”。其分日以月周(7874)为母，由此可算得 1 交点月长度$=2\times 13\frac{5230}{7874}=27\frac{2532}{7874}$日。此与刘洪

---

① 陈美东：《论我国古代年、月长度的测定》。



所定的恒星月长度$\left(=\frac{\text{周天分}}{\text{月周}}=\frac{215130}{7874}=27\frac{2532}{7874}=27.3215646\text{ 日}\right)$毫无二致。这里，刘洪又把交点月长度与恒星月长度混为一谈。

由这些讨论可知，刘洪在三个不同的地方，使用了三种不同的交点月长度值，说明他对于交点月长度的认识还是粗浅的，不成熟的。作为一个反证，我们可证明刘洪关于近点月长度的认识要成熟、深刻得多。如，在论及朔望月长度与近点月长度之差时，刘洪也曾引进了"朔行大分"(11801)、"小分"(25)、"通数"(31)，即"小分"之分母和"周法"(5969)，即"朔行大分"的分母等专用名词。依"推合朔入历"术文意，我们可以求得近点月长度为：

$$29\frac{773}{1457}-\frac{11801\frac{25}{31}}{5969}=27\frac{3303}{5969}\text{日}$$

正同上述的近点月长度相符。

虽然如此，我们也不应低估刘洪在交点月长度研究方面的价值。他毕竟首次明确地阐述了交点退行的现象，并取得了相当准确的定量结果，这在我国古代关于月亮运动的认识史上，就占有十分重要的地位。他虽然没有明确建立交点月长度的计算方法，但他在乾象历中，实际上已经采用了上述计算方法算得交点月长度值。诚然，在通往真知的道路上，刘洪在交点月长度问题上，显示出犹疑、迷惑以致陷入自相矛盾的境地，这反映了人们在该领域进行探索的道路上的真切情形。最后廓清道路的工作，是由刘宋的祖冲之完成的。而刘洪亦不愧为开拓这一新的认识领域的奠基者。

(3)黄白交角的测定和月亮去极度推求术的创立。现代的观测告诉我们，黄道与白道之间的交角并非常量，它约变动在4°57′和5°19′之间，其平均值约为5°09′。关于这个问题的定性描述，早在战国时期的石申夫就有所认识，他指出月亮相对于黄道的位置"乍南乍北"[①]。到汉代，月行术的研究十分活跃，成绩显著。在这些认识的基础上，刘洪不但明确地肯定了黄、白道之间存在一个夹角，而且进行了定量的测量，这在我国古代历法史上也是一项创举。其结果见乾象历"阴阳历"表。该表给出了月亮从黄白升交点出发，每经一日去黄道的分值——"兼数"，显然，这是刘洪经过长期的观测得到的平均值。他测得从第一日到第八日，月亮在黄道北、与黄道相距渐远，第八日达到极值，其"兼数"为"七十三"，此后月亮距黄道日近，到第十三日多达黄白降交点，刘洪称之为"阳历"；而从降交点开始，从第一日到第八日，月亮在黄道南、与黄道相距渐



① 《开元占经》卷一一。

远，第八日亦达极值，“兼数”亦为“七十三”，而后月亮距黄道日近，亦到第十三日多达升交点，刘洪称之为“阴历”。如此周而复始。“阴阳历”表还有“衰”和“损益率”两个栏目，某日下的“损益率”是后一日的“兼数”与前一日的“兼数”之差，而“衰”则为相应日“损益率”之差。它们都是由“兼数”派生出来的，是为计算时方便而设置的。

“兼数”以 12 为分母，$\frac{73}{12}=6$ 度 1 分，化为 360°制，等于 5°59.8′，此即刘洪所测得的黄白交角的平均值。它与现代观测值差约 52′，但在当时的条件下，已是难能可贵的了。“阴阳历”表的主要用途之一，是为求“月去黄道度”，在求得某时日自上元以来的积日，入阴阳历的日及定日余后，便可由表查得该日的“兼数”，再加上或减去该日“损益率”，乘以$\frac{\text{定日余}}{\text{月周}}$，便为该时日的“月去黄道度”，将入阴历还是入阳历区分开来，“其阳历以加日所在黄道（历）去极度，阴历以减之，则月去极度”。这就进而提出了推求任一时日的月去极度的方法，这又是乾象历所开创的一项新课题。不过，这一问题的解决，还需要知道“日所在黄道去极度”，这大约就是我们在本节开头就提到的，徐岳所说的刘洪关于“黄道去极度”术的新发明。可惜，在乾象历中看不到关于该术的具体记载，我们推想它应是从后汉四分历中所载二十四节气黄道去极度测量的基础上，发展而来的一种新方法。

四、关于交食的研究

上述关于刘洪月行研究的成果，大都是为提高交食预报的精度服务的。如依“求朔、望定大小余”术，利用月行迟疾表，便可求得定朔或定望的时刻[①]，这比仅用平朔、望推求交食时刻的精度就大有提高。刘洪在推求朔的时日时，并未使用月行迟疾表，这是乾象历的不足之处。这可能与采用定朔法，将产生为传统的势力所不能接受的，月有“三大二小”等问题有关，因而仍用传统的平朔方法。但刘洪已经为后来刘宋的何承天等人使用仅考虑月行迟疾的定朔算法奠定了基础。又如，月行阴阳的研究，既可用于判定交食是否发生，又可推算定朔、望时太阳、月亮的具体位置，使得推求食分之深浅和亏起之方位等问题，有较可靠的依据。有关交食方面的成就如下：



(1)关于食限的发现与规定。在刘洪以前，人们就对为什么不是每次朔望都发生交食现象的问题进行过初步的讨论。而刘洪在乾象历中，第一次明确地提出了

① 钱宝琮:《从春秋到明末的历法沿革》。



食限的概念和数值，对这个问题做了正确的和定量的回答。他在“阴阳历”表的二日和十三日项下，均给出了“限余”值，并分别称之为“前限”与“后限”，这是“阴阳历”表的又一重要内容。刘洪指出：“二日，限余千二百九十，微分四百五十七，此为前限。”其“微分法”为2209，又规定“如月周(7874)得一日”，即他以合朔或望的时刻平均离开交点 $1\frac{1290\frac{457}{2209}}{7874}$ 日以内为“前限”。将它乘以月亮每日相对于黄白交点的平行度，得14.77度，化为360°制，即约为14°33′。刘洪又指出：“十三日，限余三千九百一十二，微分一千七百五十二，此为后限。”在上一节中，我们已叙及刘洪在此所定的半个交点月的长度($13\frac{5203}{7874}$日)，以之减去“后限” $\left[12\frac{3912\frac{1752}{2209}}{7874}\text{日}\right]$，亦得 $1\frac{1290\frac{457}{2209}}{7874}$ 日。这就是说，刘洪明确规定合朔或望时月亮离开黄白交点前或后14°33′，作为判定是否发生交食的临界点。现代所定必发生日食的食限下限为15°21′。刘洪所定的食限值，对于日食而言是较为准确的。

在乾象历中，关于前、后限的具体论述仅有“入(阴阳)历在前限余前，后限余后者，月行中道也”一句。李锐在为之作注时，指出这是“月行中道则有食”①的意思。这一解释总的说来是不错的，但还不够真切与通达。在上一节中，我们已提及，乾象术有“月去黄道度”的求法，依其法，在前限时，月去黄道的度数应等于：

$$17(\text{二日的兼数})+\frac{1290\frac{457}{2209}}{7874}(\text{前限日数之余数})\times16(\text{二日的损益率})$$

$$=19.6217\text{分}=1.635\text{度}$$

同理，在后限时月去黄道的度数亦可算得为1.587度，与前限时稍有不同。这就是说在入限后，月去黄道的度数均小于1.635度(实际上，该值也可以作为是否发生交食的判定数据)，可以近似地把这段时间内月行的轨道视作与黄道同。一行在谈到月亮在入食限后，“皆沾黄道，当朔望，则有亏蚀”。② 这也应是乾象历文中上述那句话的含义。

(2)关于交食食分和亏起方位预报方法的探索。在曹魏黄初年间，徐岳在与韩翊进行关于乾象历与黄初历优劣的论争时，曾指出：“熹平之际，时(刘)洪为郎，欲



① 李锐：《李氏算法遗书・乾象术注》。
② 《新唐书・历志四下》。

改四分(指后汉四分历),先上验日蚀:日蚀在晏,加时在辰,蚀从下上,三分侵二。事御之后如洪言,海内识真,莫不闻见。”这就是说,早在公元 179 年以前,刘洪就已经有了预推日食的亏起方向和食分的方法,而且这种方法经实际天象的验证,是相当可靠的。可是,在乾象历中,并没有关于交食食分与亏起方位的具体推算方法的记载。在我国古代历法中,这两种方法的明确记载,首见于杨伟的景初历。在关于我国古代历法的许多论著中,多把这两项方法的发明权,归之于杨伟,我们认为这是欠妥当的。

由徐岳的明确记叙,兼及乾象历中,实际上已经为这两项方法的提出,准备了充分和必要的条件。如食限的规定,月亮在黄道内外,在交点先后的推求法和太阳位置的算法等等,再考虑到杨伟与刘洪间的师承关系,我们认为:刘洪应是这两项方法的最早发明者,而杨伟则是在此基础上加以发展,并明确地把它们载入景初历中的后继者。

(3)关于交食周期的研究。在乾象历中,刘洪提出了 11045 个朔望月(“会月”)中有 941 个食季(“朔望合数”,亦即在一个交食周期中所包括的食年年数的新交食周期值。由新周期值,刘洪算得半个食年的长度为“五月,月余千六百三十五,满会率得一月”,则 1 食年的长度应等于:

$$2\times5\,\frac{1635}{1882}\times\frac{43026}{1457}(\text{朔望月长度值})=346.6151315\ \text{日}$$

与理论值之差约为 376 秒。刘洪的这项成果标志着我国古代关于交食周期的研究达到了一个新的阶段,大大超过了前人和欧洲同时期研究的水平。[①]

另外,刘洪在乾象历中建立了在一个交食周期内如下几个天文量的关系式:“差率”(11986 个交点月)=“会月”(11045 个朔望月)+“朔望合数”(941 个食年),这对于后世的影响也是很大的。



(4)“消息术”之谜。一行指出:“汉史官旧事,九道术废久,刘洪颇采以著迟疾、阴阳历,然本以消息为奇,而术不传。”[②]这里所说的消息术,到唐代可能确已失传,但在徐岳与韩翊的论争中,我们却可窥知消息术的若干信息。徐岳在谈及黄初二、三年间几次交食的实测结果,并用以比较乾象历和黄初历的得失时,曾提到刘洪的消息术。为简明起见,我们把徐岳所论的主要内容列于表 2－8:

表 2－8 中“　”号内为原文,(　)号内为原文的说明或订正。由表我们可以做以下讨论:其一,取乾象历、消息术和黄初历所推五次交食时刻误差的绝对值平均,分别得 1.52 辰(约 12 刻)、0.62 辰(约 5 刻)和 2.23 辰(约 18 刻)。由此可知交

① 陈美东:《论我国古代年、月长度的测定》。
② 《新唐书·历志三下》。



食时刻的预报，乾象历较黄初历为密，而且在乾象历以前，推求交食时刻的误差，往往达1天左右，所以乾象历在这方面所取得的进展，可以说是一次飞跃。而在加消息术后，较乾象历更为精密，其含义应做进一步的讨论。

其二，我们认为消息术是在乾象历考虑月行迟疾的基础上，再加上某一改正值

表2—8　徐岳主要论点简明对照表

交食发生的年、月、日	实测加时（T）	依乾象历推加时（A）	加消息术后的加时（B）	$B-A$	依黄初历推加时（C）
黄初"二年六月二十九日戊辰"（221年8月5日）	"加时未日蚀"	"加时申半强"，"后天一辰半强"（以加时申半强为准，其后天应为一辰少强）	"加未"，"与天近"。	负一辰少强 $\left(-1\frac{4}{12}\right)$	"加辛强"，"（后天）二辰半"（以加辛强为准，其后天应为二辰少）
黄初"三年正月丙寅朔"（222年1月30日）	"加时申北日蚀"（申北应为申太弱之意，这同B栏的记载正相符）	"加午少"，"先天二辰少弱"（以T栏之说，并以加午少为准，先天应为二辰少）	"加未"，"先天一辰强"	正一辰少弱 $\left(+1\frac{2}{12}\right)$	"加时酉弱"，"后天半辰"（以T栏之说，并以后天半辰为准，加时应为庚太弱）
黄初"三年十一月二十九日庚申"（223年1月19日）	"加时西南维日蚀"（西南维即为加时申之意）	"加未初"，"先天一辰"	"加申"，"近中天"（近中天，应为近天，"中"字衍）	正一辰（+1）	"加未强"，"先天半辰"（以T栏说，并以先天半辰为准，加时应约为未太强）
黄初"二年七月十五日癸未"（222年8月20日）	"日加壬月加丙蚀"（以A、B、C栏之记载为准，加时应为午）	"加申"，"后天二辰"	"加未"，"后一辰"	负一辰（−1）	"加子强，入甲申日"，"后天六辰"
黄初"三年十一月十五日乙巳"（223年1月4日）	"日加丑月加未蚀"	"加巳半"，"先天二辰"（以T、B、C之记载和先天二辰为准，加时应为巳）	"加午"，"先一辰"	正一辰（+1）	"丙午月加酉强"，"后天二辰强"



的方法，这一改正值应与太阳运行的迟疾消息有关。汉代就已有关于如下日月运动的理论：认为天左行（从东向西转），而日、月皆右行（从西向东转），只是快慢不同，日一天右行一度，月一天右行 13 度多。依此理论，如果考虑日行也有迟疾消息，由图 2－10、图 2－11，我们便可知（$B-A$）应该有正有负，当日行疾时为正，日行迟时为负，无论日食还是月食都是如此。

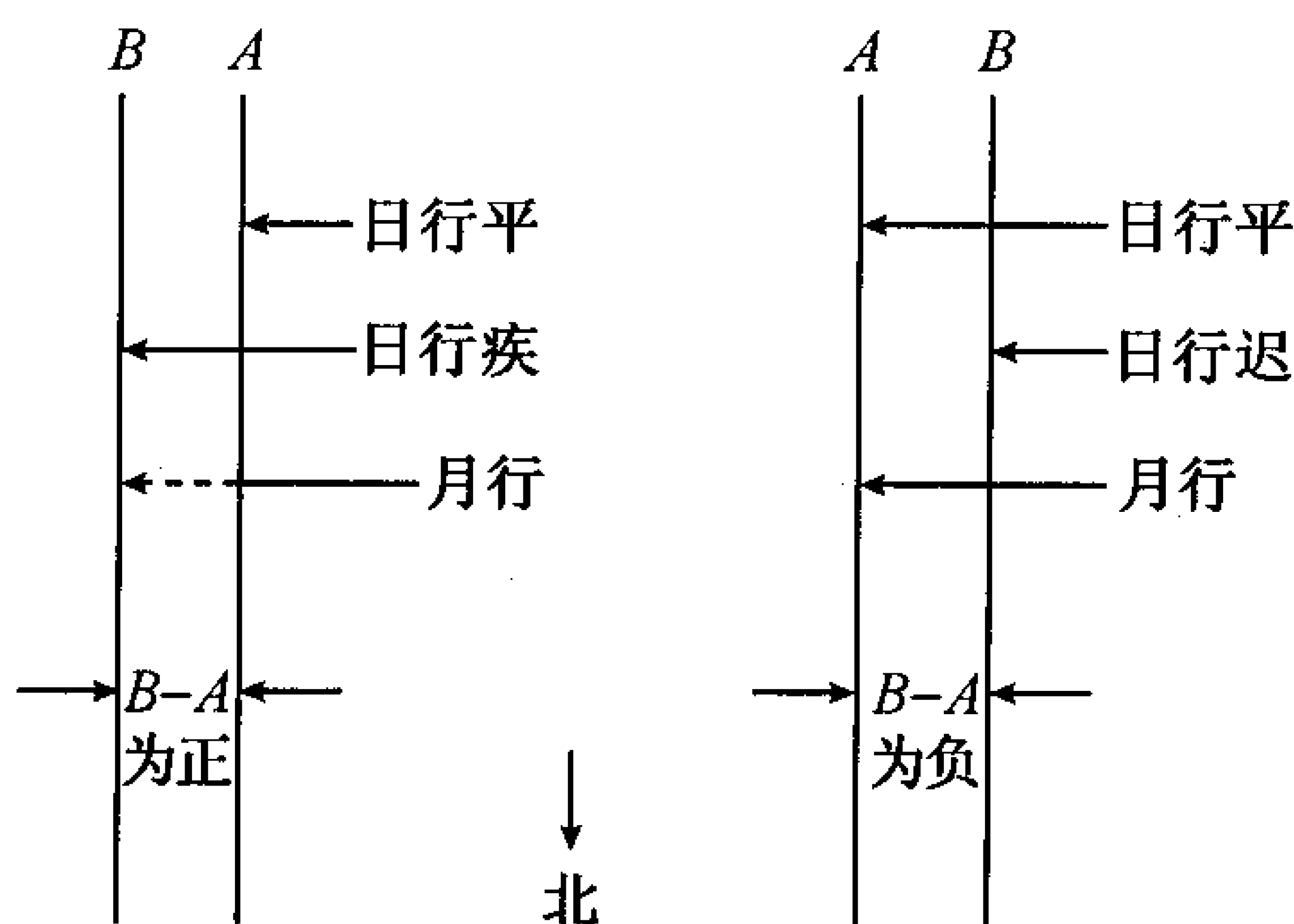


图 2－10　日食时的情形

由表 2－8（$B-A$）栏，我们可以看到其值确有正有负，而且其正负大小与交食所发生的月份，似有密切的关系：十一月为正一辰；正月为正一辰少弱；六月为负一辰少强；七月为负一辰。这里，（$B-A$）的正或负，明显地分属于不同的、且是连续的月份：十一月至正月为正，其值趋于增大；六、七月为负，其值的绝对值趋于减小。如果我们的理解无误，这应是十一月至正月，日行疾而且趋于加快；而六、七月间，日行迟而且趋于减缓。这同当时一年内日行迟疾的情况是大体相符的。可惜，我们没有更多的资料可以窥知刘洪的消息术在一年中其他月份的情形。

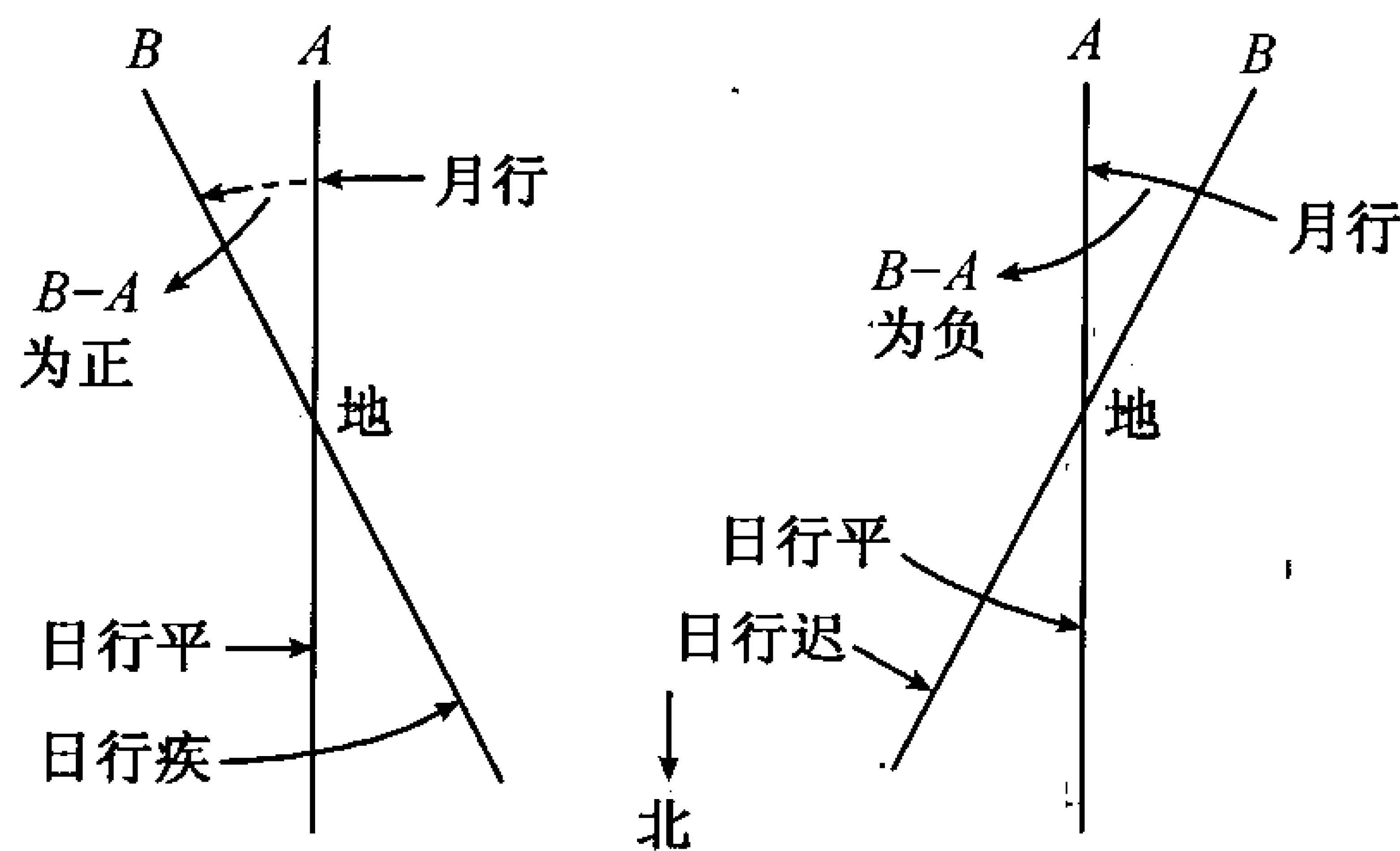


图 2－11　月食时的情形

关于消息术，在徐岳与韩翊之间，还有过如下的辩难：“翊于课难徐岳：‘乾象消



息但可减，不可加。加之无可说，不可用。'岳云：'本术自有消息，受师法，以消息为奇，辞不能改，故列之正法消息。'翊术自疏。"这说明刘洪的消息术，可能还有一个发展的过程，韩翊所知道的是"但可减，不可加"的刘洪早期的消息术；而徐岳所受的是经发展的、已经较成熟的消息术，$(B-A)$可正可负，这是刘洪经过更仔细的研究的结果。

以上的讨论说明刘洪的消息术确实包含了日行在一年中有迟疾消息的意义。可能该术是刘洪在应用他的月行迟疾术，推验历史上的交食记录和预报交食时，发现仍存在与交食发生的确实时刻或先或后的偏差，在对这些偏差进行分析时，他发现其先后与多少，与月份有较稳定的关系。于是在乾象历推得交食时刻的基础上，在各不同的月份加上不同的经验性改正值，如交食发生在十一月份，交食时刻需加一辰，七月份需减一辰，等等。这便是消息术的由来。我们知道"北齐张子信积候合蚀加时，觉日行有入气差"①，这是张子信发现了太阳运动的不均匀性的途径之一。所以，刘洪的消息术可视其为这一重要发现的先声。

五、关于五星的研究

总的说来，刘洪对于五星的研究，没有取得什么大的进展。对于五星动态表的编制，大体上与东汉四分历相同，保持在原有的水平上。关于五星会合周期的测定，东汉四分历和乾象历的结果示于表 2—9：

表 2—9　五星会合周期的测定

星名 历名	水星(日)	金星(日)	火星(日)	木星(日)	土星(日)
东汉四分历	115.881	584.024	779.532	398.846	378.059
乾象历	115.883	584.021	779.485	398.880	378.080
现代观测值	115.877	583.921	779.936	398.884	378.092

两历水星和金星的观测值可谓不相上下；而火星，乾象历则劣于东汉四分历；但木星、土星则以乾象历为优。其中尤可值得称道者，是关于木星的观测值，其后直到隋刘焯皇极历(604)的精度才超过它。

同稍后的黄初历、景初历等历法相比较，乾象历的五星法乃属优胜者。徐岳也曾依乾象历与黄初历，推算了黄初二、三年间木、土、金、水等四星的 14 次见伏时

① 《新唐书·历志三下》。



间，并与实测值进行比较，得到“乾象七近二中，黄初五近一中”的结果。又，杨伟的景初历(237)在行用约80年后，发现其“推五星尤疏阔，故元帝渡江左以后(317)，更以乾象五星法代伟历”，从此乾象历的五星法一直沿用了百余年之久。可见乾象历的五星法在当时，以及其后较长的一段时间内，仍是很有影响的。

总之，刘洪在天文学上取得了一系列重大的成就，其中以对月亮的研究和对交食的研究，成绩尤为卓著，他的乾象历则是标志我国古代独特的历法体系趋于成熟的一部里程碑式的著作，对后世产生了极深远的影响。刘洪以他毕生的精力从事天文学的研究，他注重实践，在继承前人成果的基础上勇于创新，把古代的天文学提高到一个崭新的水平。他不愧是我国古代杰出的天文学家。

(撰稿人：陈美东)





第三章　魏晋南北朝天文学家

第一节　杨　伟

一、生平简介

杨伟，字世英，冯翊（今陕西大荔）人，生卒年月不详。三国魏明帝（227—239）时，他曾担任处理朝廷某些日常事务的"尚书郎"。魏邵陵厉公正始五年（244），他担任相当于高级军事参议的"参军"官[①]。西晋建立（265）以后，又任筹划南征军事的"征南军师"。杨伟知识渊博，著有《桑丘先生书》二卷，《时务论》十二卷[②]和《景初历》一部。前一书早已亡佚，《时务论》仅在《北堂书钞》和《太平御览》中留存残句，对此我们无可置评。而景初历被收载于《宋书》和《晋书》律历志中，使我们得以了解杨伟的天文学造诣。

魏文帝黄初元年（220），韩翊造黄初历，其后不久，许多人起而难之。杨伟也积极参与了这场争论。杨伟主张"先校历之本法"，即从历法的基本理论上判别乾象历和黄初历的优劣是非。他指出："今韩翊据刘洪术者，知贵其术，珍其法。而弃其论，背其术，废其言，违其事，是非必使（刘）洪奇妙之式不传来世"。[③] 这段议论至少表明：早在黄初年间（226 年前），杨伟对刘洪乾象历的术、法、论、言、事均有较深入的了解和研究，在当时的天文历法界是一位颇有影响的人物。

魏明帝太和年间（227—233），"太史上汉历不及天时，因更推步弦望朔晦，为太和历"。帝诏使"学问优深，于天文又精"的高堂隆与"尚书郎杨伟、太史待诏骆禄参共推校。伟、禄肯定太史的工作，隆故据旧历更相劾奏，纷纭数岁。伟称禄得日蚀而月晦不尽，隆不得日蚀而月晦尽。诏从太史"[④]。由这一记载看，这时的杨伟是很有威望的天文学家，他从日蚀和月晦等天象的具体测算与论证，力排众议，使高堂隆也不得不从其论。

① 《三国志·魏书·曹真传》及其注引《世语》。

② 《隋书·经籍志三》及注。

③ 《晋书·律历志中》。

④ 《三国志·魏书·高堂隆传》注引《魏略》。



魏明帝景初元年(237),尚书郎杨伟献上他所编撰的景初历,在上景初历表中他说:“臣前以制典余日,推考天路,稽之前典,验之食朔,详而精之,更建密历,则不先不后,古今中天。”[①]这是说他的历法是在汲取前人历法精髓,考验古今交食、晦朔记录与实测的基础上制定的。它至迟是黄初年间以来十余年间,杨伟对天文历法研究的心得之作。

在杨伟献历的当年四月,景初历正式在魏国颁行。西晋“武帝践阼,泰始元年(265)因魏之景初历,改名泰始历”,终西晋一代,皆沿用之,仅改了历名而已。东晋以后,由于发现“杨伟推五星尤疏阔”,“更以乾象五星代伟历”,即景初历在东晋仍行用不废,只改其五星法。北魏“仍用景初历。……世祖平凉土,得赵𢾺(5 世纪前期人)所修玄始历,后谓为密,以代景初。”[②]即北魏在 386 至 451 年间亦颁用景初历。此外,刘宋代晋亦用景初历,直到颁行何承天的元嘉历(444)为止。这就是说景初历自 237 年颁行,前后沿用了 214 年之久,是我国古代除授时历外,行用时间最长的一部历法。

由以上粗略的讨论可知:杨伟生于东汉末年(2 世纪末),历三国,至晋初(3 世纪 60 年代)。他后半生的主要精力花费在军事生涯之中。而景初历是杨伟用他前半生的精力和才智,在天文历法领域建树的一座纪念碑,该历行用 200 余年,是世人对他的工作的肯定。刘宋著名天文学家何承天在论及前代历法家时,将杨伟同太初历、乾象历的制定者邓平、刘洪并提,称“此三人,汉魏之善历者”,这一评述是很中肯的。下面我们拟由对景初历的初步剖析,来阐明杨伟的天文学成就。

二、关于月亮运动的研究



自两汉之际开始,人们对月亮运动的研究有了新的突破,特别是刘洪更开创了一个崭新的时代。关于刘洪的贡献已如第二章第九节所述,而从刘洪到景初历的短短 30 余年间,人们对月亮运动的研究又取得重大的进展。如韩翊的黄初历确定一朔望月为 $29\frac{6409}{12079}$日,这与理论值仅差 0.4 秒,其精确度已达到了我国古代的最高水平。就景初历而言,对月亮运动研究的进展则表现为:

(1)杨伟定 1 朔望月长度为 $29\frac{2419}{4559}$日,与理论值之差为 1.1 秒,虽较黄初历稍逊,但比乾象历(其误差为 3.7 秒)有不小的进步。

(2)对于恒星月长度,杨伟得:$27\frac{7924}{24638}$日,误差为 3.6 秒,这一成果的精度不

---

① 《宋书·律历志中》和《晋书·律历志下》,以下凡未注明文献出处者,均同此。

② 《晋书·律历志中》。



但超过了他的前人，在后来，直到刘焯的皇极历(604)才超过杨伟的水平。

(3)杨伟测得近点月长度为 $27\frac{2528}{4559}$日，误差为 5.3 秒，这比刘洪所取值(误差为 104.5 秒)的精度大大提高，不能不说有了长足的进步。

(4)杨伟取交食周期为：会通 790110，朔望合数 67315。即每经 790110 个朔望月，太阳通过黄白的一个交点计 67315 次，也就是说 790110 个朔望月长度适等于(790110＋67315)个交点年长度。依此可算得景初历取 1 个交点年长度为：

$$\frac{790110}{67315}\times 29\frac{2419}{4559}=346\frac{2806}{4559}\text{日}$$

其误差为 360 秒，这比乾象历(误差为 376 秒)也有所进展。

如果以此交食周期值，可推算得 1 交点月长度当为：

$$\frac{790110}{790110+67315}\times 29\frac{2419}{4559}=27.2122010\text{ 日}$$

误差仅 1.2 秒，比起乾象历的误差 5.5 秒①，其进步是显而易见的。

(5)杨伟所定月离表的某些数据较乾象历为优，以乾象和景初二历月离表的盈缩大分相比较：乾象历“盈缩积分”最大者为“盈百二”，化为角分值＝$\frac{102}{19}\times\frac{360}{365.25}\times 60'=318'$，而景初历“盈缩积分”最大者为“盈积分四十八万三千二百五十四”，化为角分值＝$\frac{483254}{19\times 4559}\times\frac{360}{365.25}\times 60'=329'$。而月亮盈缩大分的今测值约为 377′，可见景初历所取值较佳。

又，乾象历月离表中盈缩积最大者为第八、九两日，而景初历定为第七、八两日，后者则更接近于月亮运动迟疾的实际情况。



以上五项的后四项均为关于月亮运动研究取得新进展的标志。其中第(3)、(4)、(5)三项是杨伟经实测和研究得到的。第(3)、(4)分别是在对月亮近地点进动值和黄白交点退行值测定的基础上取得的；第(5)则是长期实测每日月亮行度而得的。杨伟十分推崇刘洪对于月亮运动、交食等的研究成果，称其为“奇妙之式”，但他并没有就此止步，而是以他的新努力，使之更为完善。

三、历元的设置及有关约法

秦汉以来，古人在选取历法的历元时，总要推求一个理想的上元，要求其时为

① 以上所列各误差值的计算，请参阅陈美东《论我国古代年、月长度的测定(上)》一文，载《科技史文集》第 10 辑，上海科技出版社，1983 年。

十一月、朔旦、冬至、甲子、夜半、五星晨见(或合),等等。在有了月亮近地点和黄白交点的认识之后,还要加上其时适为月亮过近地点和黄白交点的条件。实际上这种上元只是虚推而已,它的推得是以降低有关天文常数的精度为代价的。为了避免这种人为的误差,杨伟在景初历历元的设置上用了新的处理方法。

景初历设"壬辰元以来,至景初元年丁巳岁,积四千四十六,算上。此元以天正建子黄钟之月为历初,元首之岁,夜半、甲子、朔、冬至。"又设"日月五星聚于星纪"。即其历元仅是十一月、朔旦、冬至、甲子、夜半和五星的共同起算点,对于月亮近地点和黄白交点的起算点则另做处理。这样使得景初历的上元积年数成为我国古代历法中最小者之一(仅比北宋杨忠辅的统天历上元积年数 3830 稍大些),大有益于精度的提高。

景初历是怎样设置月亮近地点和黄白交点的起算点呢?这要从其对元、纪、章、年间关系的设定谈起。

景初历令 1 元=6 纪,1 纪=97 章,1 章=19 年,则 1 元=6 纪=582 章=11058 年。而这种关系的设定与杨伟对回归年长度值的巧妙选定有关。已知太和历的回归年长度值取为 365.24687 日[1],杨伟稍增之,取为 365.24688 日,该值用分数表示即为$\frac{673150}{1843}$日。其中 1843=97×19,此前各历法均以 19 年为 1 章,那么这刚好是 1 章的 97 倍,此即景初历设 1 纪为 97 章的缘起;又,1843 年适为 673150 日,而$\frac{673150}{60}$的余数为 10,于是每经 6×1843=11058 年,日名干支可周而复始,此即景初历设 6 纪为 1 元,等于 11058 年的由来。

已知景初历壬辰元首日名干支为甲子,此亦即该元第一纪纪首的日名干支。而第二纪纪首的日名干支应为甲子之后 10 个干支,即甲戌。同理,第三、四、五、六纪纪首的日名干支分别为甲申、甲午、甲辰和甲寅,这就是"甲子纪第一"、"甲戌纪第二"、"甲申纪第三"、"甲午纪第四"、"甲辰纪第五"和"甲寅纪第六"的意思。

景初历设"甲子纪第一,纪首合朔,月在日道里。交会差率,四十一万二千九百一十九。迟疾差率,十万三千九百四十七。甲戌纪第二,纪首合朔,月在日道里。交会差率,五十一万六千五百二十九。迟疾差率,七万三千七百六十七……"

如上所述,甲子纪第一纪首即壬辰元元首,其交会差率是指黄白升交点在壬辰元首前的度距$=\frac{412919}{4559}\approx 90.57$度;其迟疾差率是指月亮近地点在壬辰元首前的

① 朱文鑫:《历法通志》,商务印书馆,1934 年。



度距$=\frac{103947}{4559}\approx22.80$度。甲戌纪第二，甲申纪第三等的交会差率和迟疾差率，则以交会纪差和迟疾纪差分别递加和递减甲子纪第一的交会差率和迟疾差率而得。其含义和理由如次：

> 交会纪差十万三千六百一十。求其数之所生者。置一纪积月（$97\times19\times12\frac{7}{19}=22795$，为一纪内朔望月的个数），以通数（134630，为朔望合数的2倍，亦即朔望月长度的日分值）乘之，会通（790110，为半个交点周的分值）去之，所去之余，纪差之数也。

前已述及，会通除以朔望合数为太阳由黄白的一个交点回归原点所需的朔望月个数，则会通除以通数即为太阳由黄白的一个交点到另一个交点所需的朔望月个数，那么，以此除一纪积月：$22795\div(790110\div134630)=3884\frac{103610}{790110}$，是为每经一纪月太阳由黄白的一个交点到另一个交点的次数。因为3884为偶数，则每经一纪月太阳回到起始的那一个交点，并又前移了$\frac{103610}{790110}$半交点周，而半交点周$=\frac{790110}{4559}$度，其前移值就等于$\frac{103610}{4559}$度，此亦即每经一纪的时间，黄白交点较上一纪朔日的退行度值，也就是交会纪差的含义和由来。

已知甲子纪第一纪首朔日与黄白升交点相距$\frac{412919}{4559}$度，则甲申纪第二时，黄白升交点在纪首朔日前的距度为$\frac{412919}{4559}+\frac{103610}{4559}=\frac{516529}{4559}$度。余可类推。

> 迟疾纪差三万一百八十。求其数所生者，置一纪积月（22795），以通数乘之，通周（125621，为近点月的日分值）去之，余以减通周，所减之余，纪差之数也。

已知$\frac{125621}{4559}$和$\frac{134630}{4559}$分别为近点月和朔望月的长度值，则$22795\times\frac{134630}{125621}=24429\frac{95441}{125621}$，即为每经一纪月月亮过近地点的次数。整数去之，其余数即为每经一纪月月亮在近地点后的近点周数，亦等于$\frac{95441}{125621}\times\frac{125621}{4559}=\frac{95441}{4559}$度。那么$\frac{125621}{4559}-\frac{95441}{4559}=\frac{30180}{4559}$度，是为每经一纪月近地点较上一纪纪首朔日的进动值，也就是迟疾纪差的含义与由来。又已知甲子纪第一纪首朔日与近地点相距$\frac{103947}{4559}$度，则甲申纪第二时，近地点与纪首纪日前的距度应为$\frac{103947}{4559}-\frac{30180}{4559}=\frac{73767}{4559}$度。



余亦可类推。

又，所谓“月在日道里”，是指月在黄道之北，在已过黄白升交点而未至降交点之间的位置上。而“月在日道表”，是指月在黄道之南，在已过黄白降交点而未至升交点之间的位置上。如已知“甲午纪第四，纪首合朔，月在日道里。交会差率七十二万三千七百四十九”，则甲辰纪第五纪首的交会差率分值应等于 723749＋103610＝827359，此已大于会通（790110），需减去会通得 37249，其时月已过黄白降交点，所以该纪首合朔，月在日道表。

总之，景初历所给出的 6 纪纪首合朔月在日道表里，和相应的交会差率、迟疾差率各值，是作为历法历元设置的一个组成部分。这种处理方法有较大优越性，对后世产生了较大影响。刘宋何承天的元嘉历，北魏张龙祥的正光历和李业兴的兴和历等均承用其法。清代学者指出：“壬辰元首有交会、迟疾差数，此又杨忠辅诸差、郭守敬诸应之所自出。”[①]这一评价是很正确的。

这里我们还要顺便提一下景初历对五星运动的研究。就五星会合周期的测算值而言，与乾象历比较如表 2—2 所示。

土星，景初历较乾象历为优，而且还是到那时为止所得的最佳值；水星，二历相当；木、火、金三星，景初历则较次，其中尤以火星为甚。这种情况表明，景初历的总精度水平低于乾象历。这大约就是“伟之五星，大乖于后代”的重要原因之一。又依何承天的说法：“伟拘于同出上元壬辰”，是景初历五星法的另一个缺欠，即在设置历元时，杨伟虽有独具匠心之处，但对于五星则考虑不周，致有其五星法被废止不用的后果。

为使历法的计算简便易行，杨伟还有不少创新。也如同清代学者指出的：“乾象推合朔用日法，推迟疾用周法，推阴阳用月周，各异其法而不相通。伟术通数、会通、通周，并以满日法（4559）而一为日，用算省约，此李淳风总法之所祖。”[②]除此而外，景初历在推求朔望弦晦、交会月蚀去交度以及月行迟疾术中，也都以日法为统一的分母。这些都是杨伟潜心设数的结果。

四、关于交食的研究

关于计算的基本方法，在刘洪的乾象历中虽已见端倪，但具体步骤还不够完备。杨伟在此基础上完成了充实与提高的工作，使交食有关问题的计算变得井然有序、一目了然。这是杨伟对历法的最重要贡献。现将其推交食术分五个问题一一加以讨论。

① 阮元：《畴人传》卷五。
② 阮元：《畴人传》卷五。

(1)关于食限的规定。“朔望去交分，如朔望合数(67315)以下，入交限数(722795)以上者，朔则交会，望则月食。”这是关于判别交食是否发生的食限的规定：当朔、望发生在黄白交点后$\frac{67315}{4559}$度以下时，和离黄白交点$\frac{722795}{4559}$度以上时，在朔则日食，在望则月食。已知黄白两交点间相距$\frac{790110}{4559}$度，则离黄白交点$\frac{722795}{4559}$度以上，实指离黄白交点前$\frac{790110}{4559}-\frac{722795}{4559}=\frac{67315}{4559}$度以下之时。即景初历以朔、望发生在黄白交点前、后$14\frac{3489}{4559}$度以下者为入食限。

(2)交、会先后之判定。这是关于日、月食发生于黄白交点前或后的判别方法。食在交点后，曰前交后会；食在交点前，曰前会后交。其术曰：“交会(指日食)、月食如朔望合数以下，则前交后会；如入交限数以上，则前会后交。”无论在黄白升交点或降交点前后均如此，如图 3－3 所示。图中，E 为升交点，F 为降交点，$\overset{\frown}{EA}$、$\overset{\frown}{EB}$、$\overset{\frown}{FA}$、$\overset{\frown}{FB}$为朔望合数，$\overset{\frown}{EC}$、$\overset{\frown}{ED}$、$\overset{\frown}{FC}$、$\overset{\frown}{FD}$为入交限数，图 3－1 为日食时的情形，月食亦仿此。

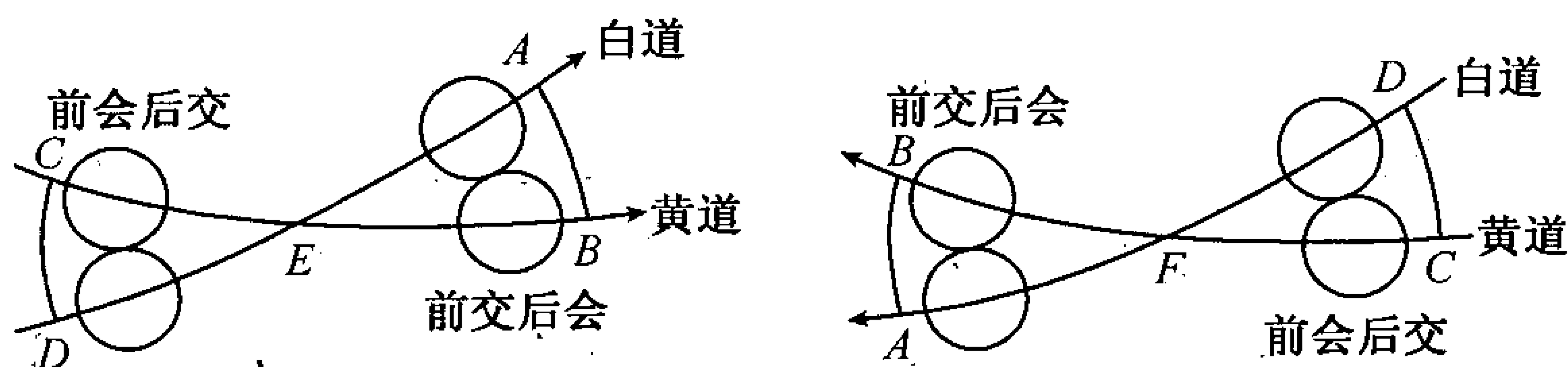


图 3－1　交食交会图(一)

杨伟还进一步指出：“前交后会，近于限数者，则豫伺之前月；前会后交，近于限数者，则后伺之后月。”这里的限数是朔望合数和入交限数的统称。对于前交后会而言(如图 3－2 所示)，设 S 月去交度稍大于朔望合数，已知一朔望月内太阳行$29\frac{2419}{4559}$度，则($S-1$)月时的去交度必稍大于入交限数，因为$\overset{\frown}{B'C'}=\overset{\frown}{BC}=29\frac{2419}{4559}$度。所以($S-1$)月见食的可能性很大，需“豫伺之前月”。

对于前会后交而言(图 3－3)，设 S 月去交度稍小于入交限数，同理，($S+1$)月的去交度必稍小于朔望合数。所以($S+1$)月见食的可能性很大，需“后伺之后月”。图 3－2 和图 3－3 是讲日食时的情况，月食亦与此相仿，不赘述。由此看来，这一段术文应是对判别是否发生交食的一种补充。

(3)月在日道表里的判别。术曰：“置所入纪朔积分，以所入纪下交会差率之数加之，倍会通去之，余不满会通者，纪首表，天正合朔月在表；纪首里，天正合朔月在

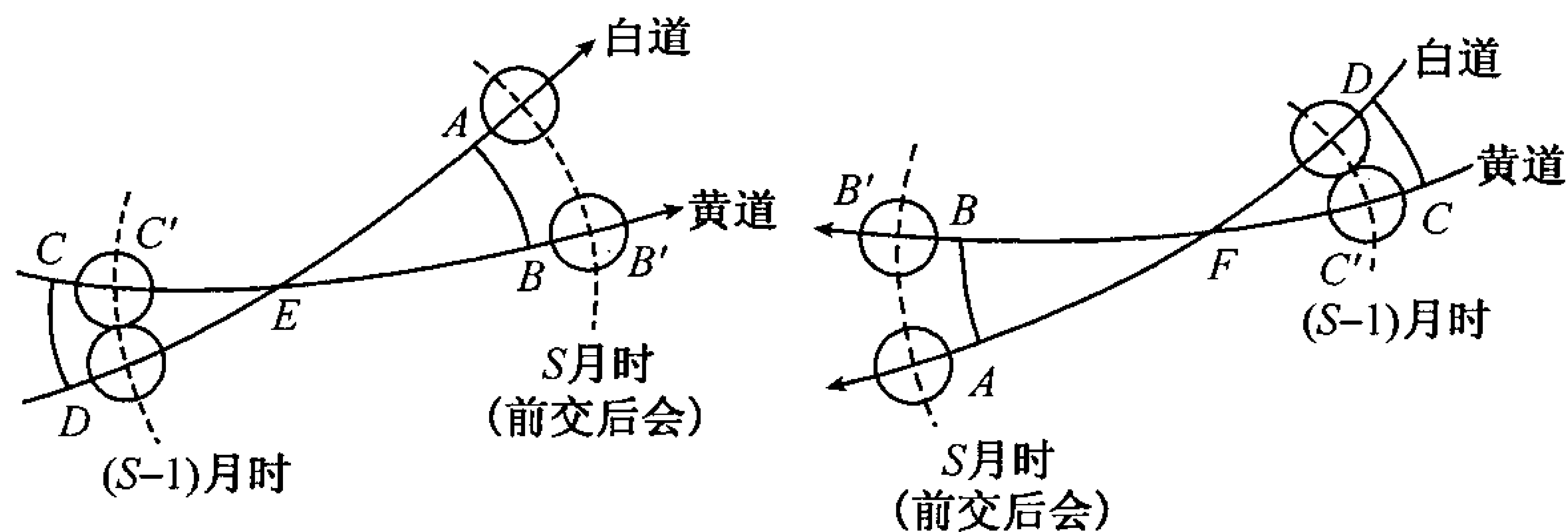


图 3－2　交食交会图(二)

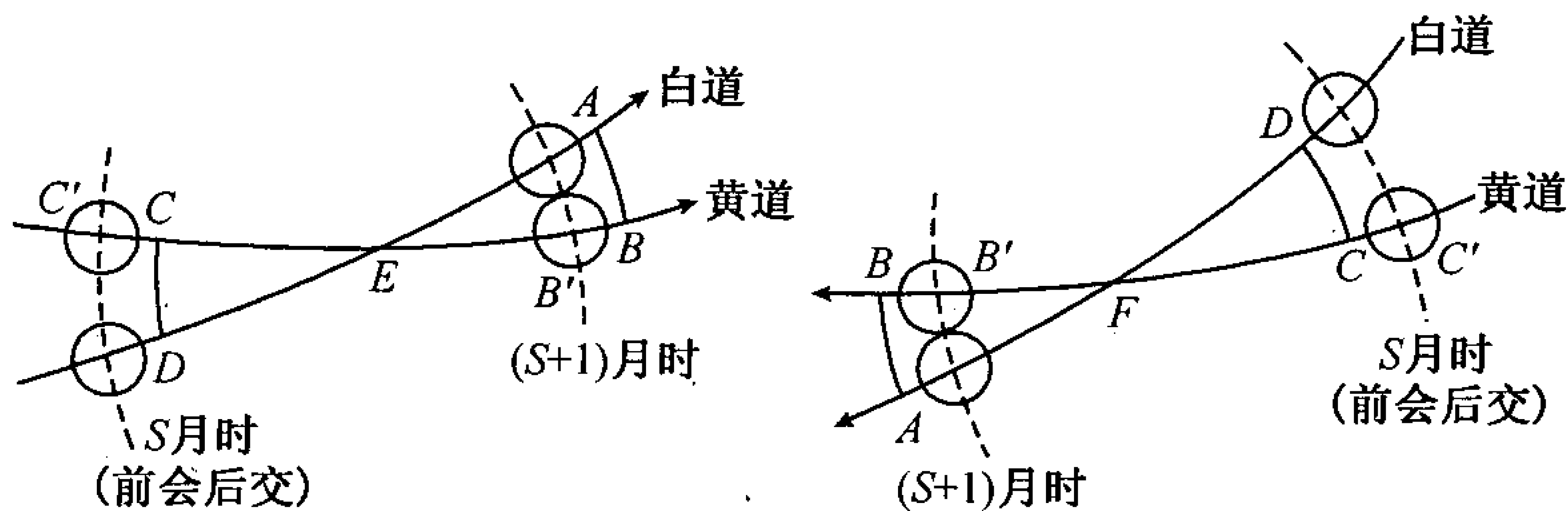


图 3－3　交食交会图(三)

里。满会通去之,表满在里,里满在表。”

如图 3－4 所示:G 为所入纪纪首,GH 为所入纪下交会差率,H 即为纪首时黄白交点之所在,I 为所求年十一月朔日,GI 为入纪朔积分,HI 为纪首时黄白交点与所求年十一月朔日间的积分,以交点年积分(二倍的会通)的整倍数去之,得 J 点,余为 JI。若 JI<会通时,H 为升交点,J 亦为升交点;H 为降交点,J 亦为降交点。于是,所求年十一月朔日,月在日道表里应与纪首的情况相同。若 JI>会通时,需以 JI 减去会通,得 J' 点,则 H 为升交点,J' 为降交点;H 为降交点,J' 为升交点。于是,所求年十一月朔日,月在日道表里应与纪首的情形相反。

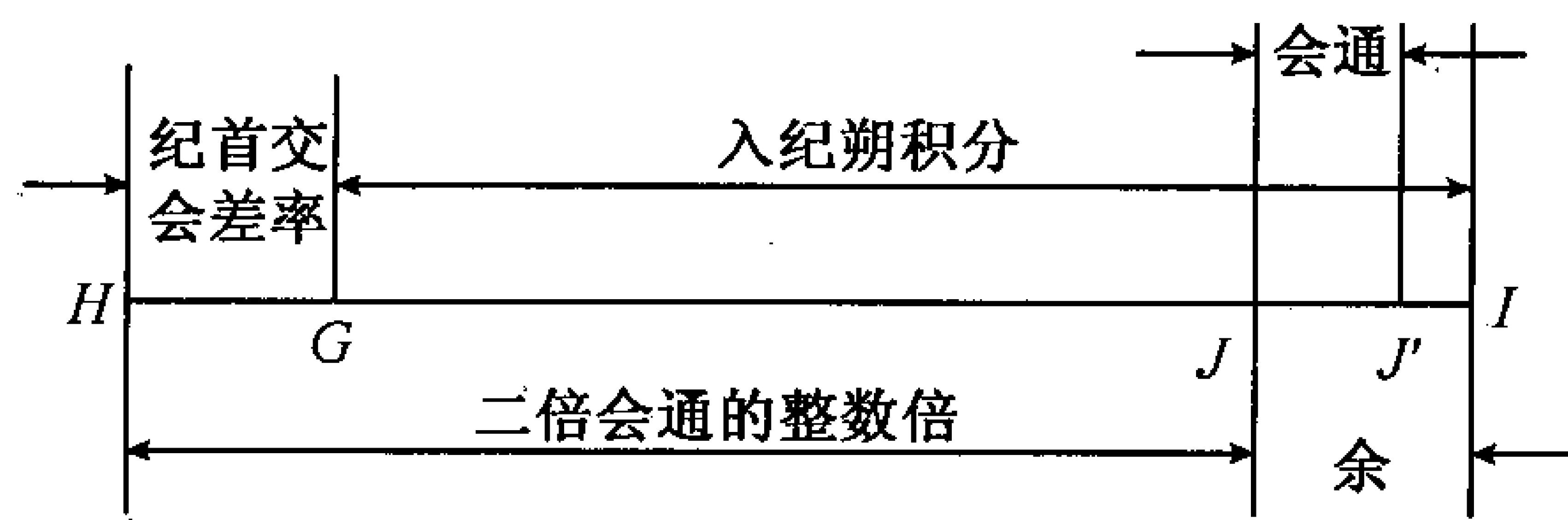


图 3－4　月在日道表里的判断

又术曰:“求次月,以通数加之,满会通去之,加里满在表,加表满在里。”这是求任一月朔日,月在日道表里的方法。即以 JI(或 $J'I$)加一朔望月日分值(通数),所得数若小于会通,则十二月朔日,月在日道里表的情况与十一月朔日相同;大于会



通，则相反。余可类推。

同理，欲求望时月在日道表里，需以 JI（或 JI'）与半朔望月日分值之和加以讨论，判别方法类同。

景初历还进一步指出了发生日、月食比食时，月在日道表里的两种情况的判别方法：

其一，“先交会、后月食者，朔在表则望在表，朔在里则望在里”。

这是指先发生日食，过半个朔望月后又发生月食的情况而言。如图 3－5 所示，设日食发生在升交点前，其去交度 $\widehat{M_1E}$（$\widehat{N_1E}$）必大于入交限数，而在半个朔望月后，日必已过升交点到 M_2，与之相望的月必已过降交点到 N_2。所以说若先发生日食时，月在日道表（N_1），后发生月食时，月亦在日道表（N_2）。

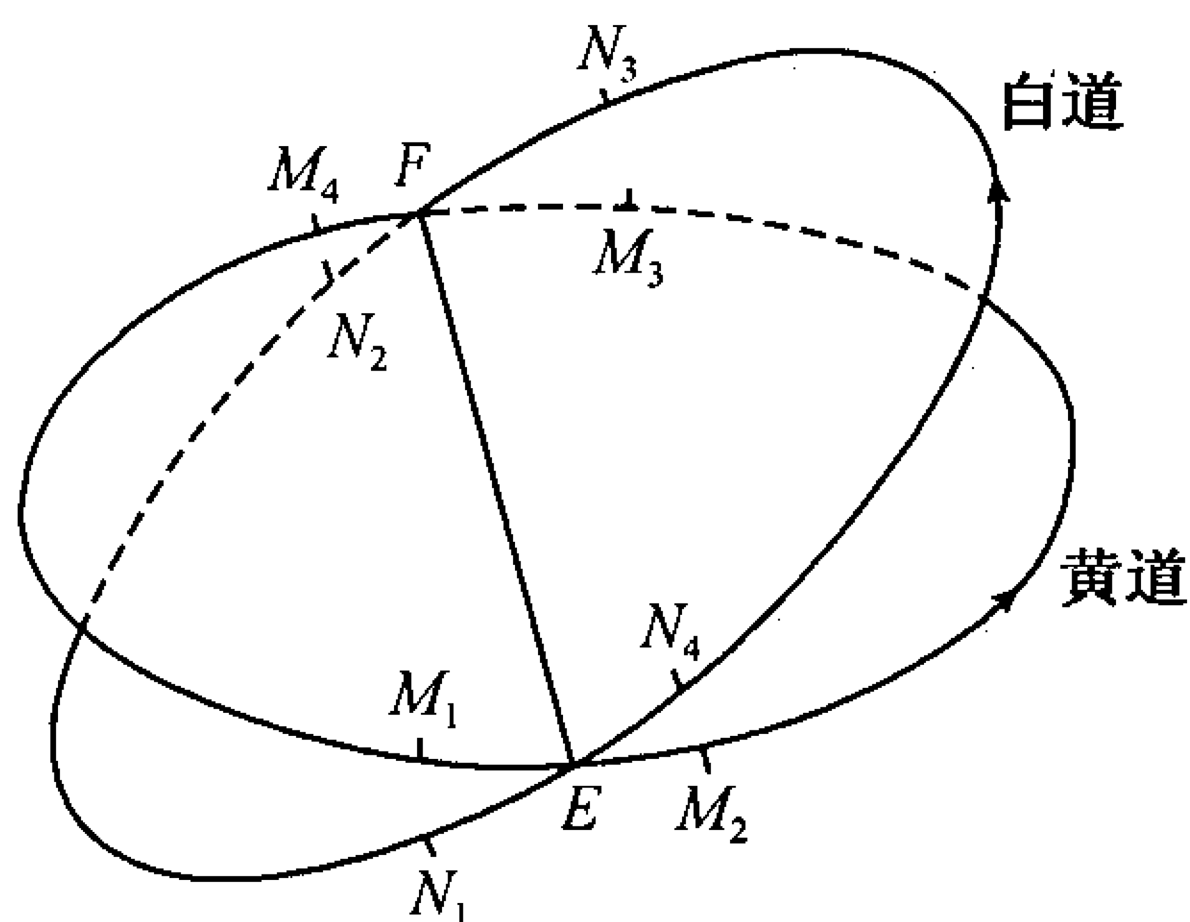


图 3－5 发生比食的条件（一）

亦如图 3－6 所示，设日食发生在降交点前，其去交度 $\widehat{M_3F}$（$\widehat{N_3F}$）必大于入交限数，而在半个朔望月后，日必已过降交点到 M_4，与之相望的月必已过升交点到 N_4。所以说若先发生日食时，月在日道里（N_3），后发生月食时，月亦在日道里（N_4）。

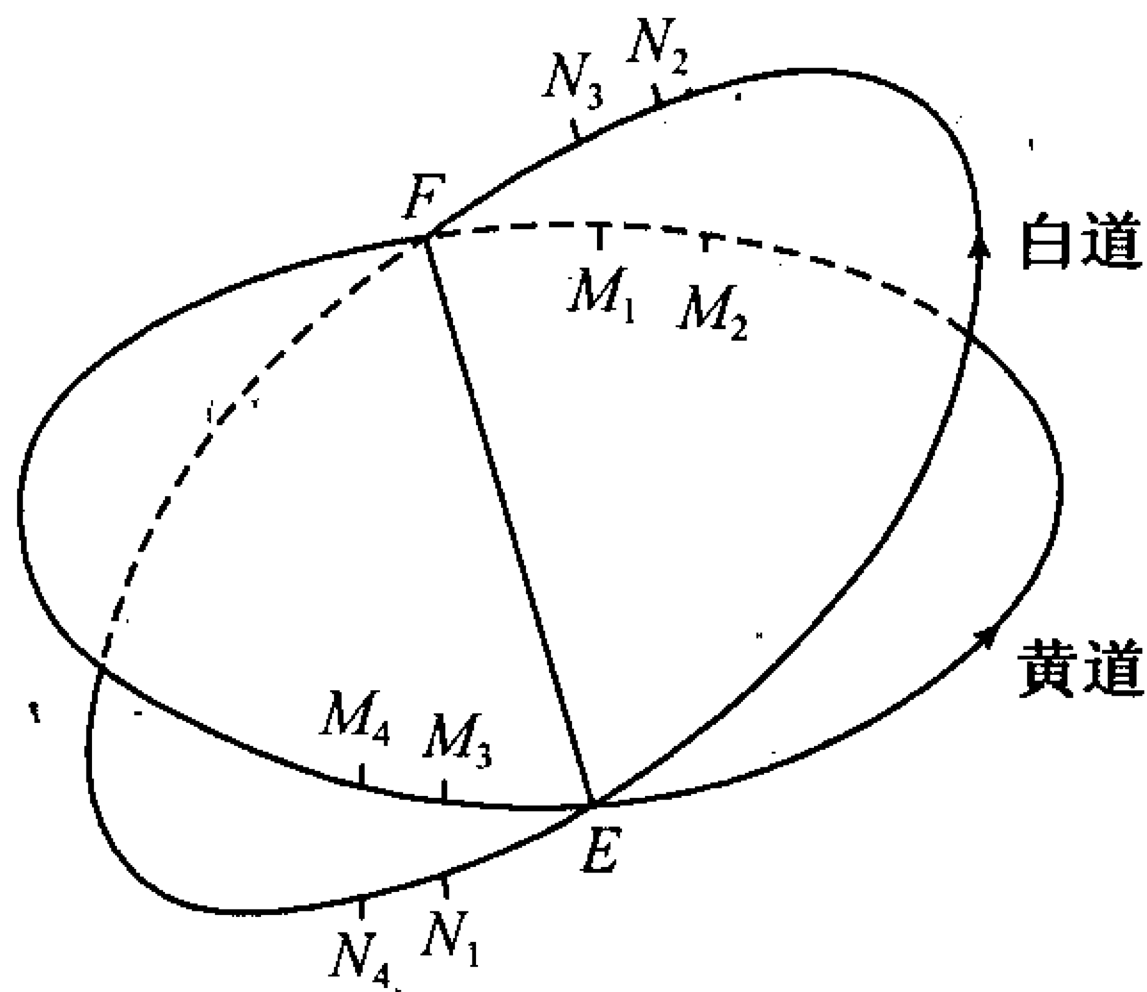


图 3－6 发生比食的条件（二）



其二,“先月蚀、后交会者,看蚀月朔在里则望在表,朔在表则望在里。”

这是指先发生月食,过半个朔望月后又发生日食的情况而言。如图 3－6 所示,设月食发生在升交点前,则月(N_1)和日(M_1)分别在升交点和降交点前,而在半个朔望月之前,日当然在降交点之前(M_2),与之相合的月亦必在降交点前(N_2)。所以说若发生月食这个月的朔日时,月在日道里(N_2),则月食时,月在日道表(N_1)。

亦如图 3－6 所示,设月食发生在降交点前,则月(N_3)和日(M_3)分别在降交点和升交点之前,而在半个朔望月前,日当然在升交点之前(M_4),与之相合的月亦必在升交点前(N_4)。所以说若发生月食这个月的朔日时,月在日道表(N_4),则月食时,月在日道里(N_3)。

由之可知,这段术文讲的是:由发生月食那个月朔日时(即所谓“看蚀月蚀”),月在日道表里的状况,来判断月食时月在日道表里的方法。做与上述相类似的分析便可知:在这次月食发生后继而发生日食时,月在日道表里的情况与月食时相同,这大约是术文中并未明确提及其状况的原因。

(4)关于食分的计算。为推求交食的食分,要先推求朔、望时的日、月去交度,其术曰:“置所入纪朔积分,以所入纪下交会差率加之,以会通去之,余则所求年天正十一月合朔去交度分也。以通数加之,满会通去之,余则次月合朔去交度分也。以朔望合数各加其月合朔去交度分,满会通去之,余则各其月望去交度分也。”

亦如图 3－4 所示,HJ'为会通的整数倍,IJ'即为所求年天正十一月合朔去交分(J'是升交点还是降交点可不予考虑,因为这里仅要求去交分之值)。以 IJ' 加一朔望月日分值(通数),若所得数小于半个交点年日分值(会通),即为次月合朔去交分(若大于会通,则需以会通减之),又以该值除以日法,则可得相应的去交度分值。欲求月望去交度分,以半个朔望月日分值加其月合朔去交分,除以日法,即得。

关于进一步推算食分的方法,景初历曰:“去交度十五以上,虽交不蚀也,十以下是蚀,十以上,亏蚀微少,光晷相及而已。亏之多少,以十五为法。”

前面已论及,景初历以 $14\frac{3489}{4559}$度为食限,所以去交度 15 以上,是不蚀的。至于去交度在 10 度以上或以下的亏蚀情况,这里也仅做一般性的叙述,那么,“亏之多少,以十五为法”句应是食分计算的关键性文字。查北魏张龙祥正光历有:“推蚀分多少术曰:置入交限十五度,以朔望去交日数减之,余为蚀分。”[①]考正光历推交

① 《魏书·律历志上》。



食术基本上均与景初历同，所以该术文应是对“亏之多少，以十五为法”句的最好注释。由此可知，景初历求食分，用的是一种分食分为15份的方法，食分可由下式计算：食分＝15－去交度分值。

(5)关于交食亏起方位的判定。我们知道，日月食亏起方位主要与以下因素有关：交食发生时所处的方位(或者说交食发生的时间)；交食发生在黄白交点的前或后，是升交点抑或降交点；食分的大小；观测者的地理纬度；等等。所以这是一个十分复杂的问题。

图3－7是日食发生于正南和东点、西点附近，及升交点和降交点前后时，人目所见日食亏起方位不同情况的示意图。内道指月在黄道之北，外道指月在黄道之南。先交后会指食在交点后，先会后交指食在交点前，西南、西北、东南、东北等即指日食亏起方位。

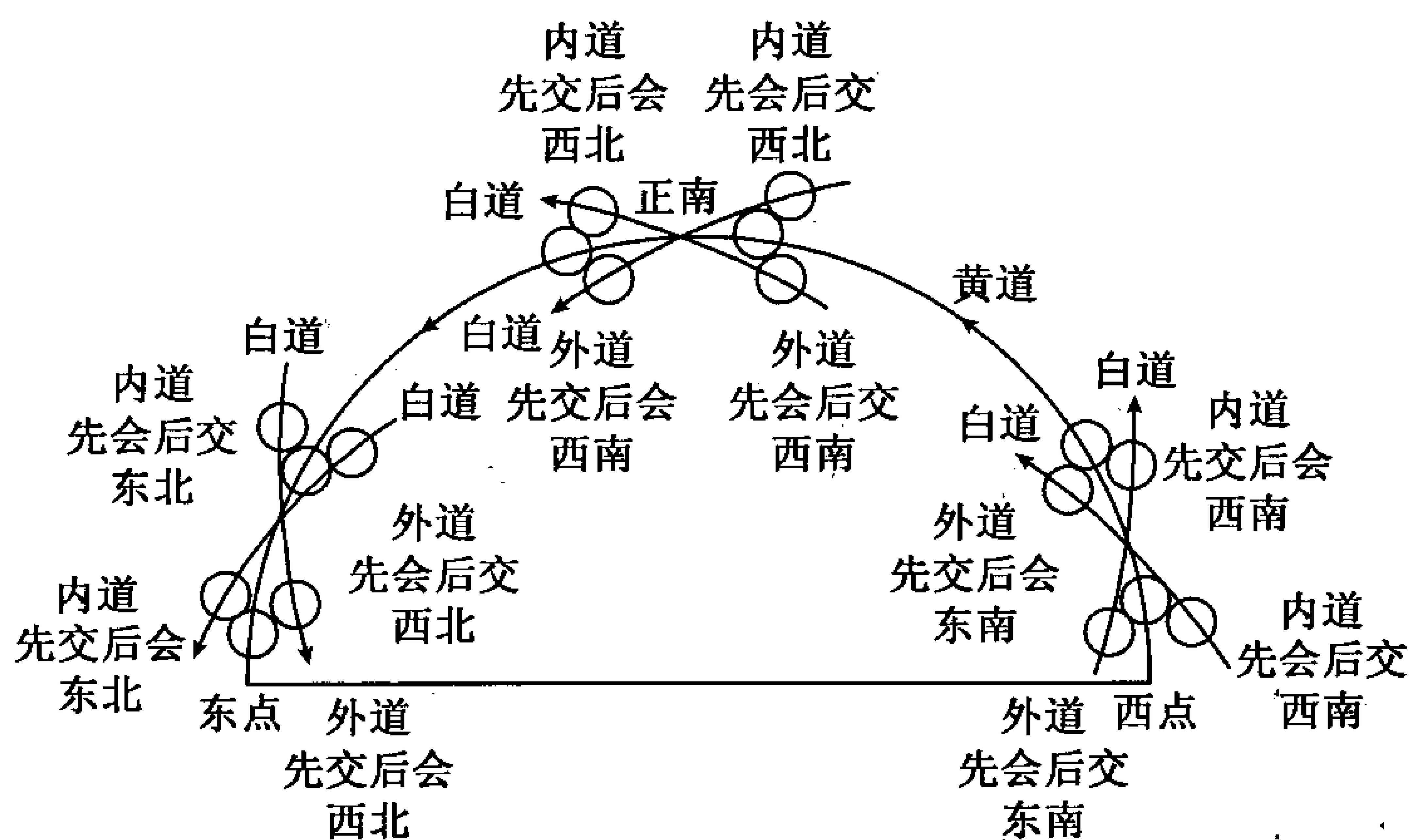


图3－7　日食亏起方位示意图



由图3－7可归纳如下：

第一，亏起西南角者：

①正南附近，月在外道，先交后会(或先会后交)；

②西点附近，月在内道，先交后会(或先会后交)。

第二，亏起东南角者，西点附近，月在外道，先交后会(或先会后交)。

第三，亏起西北角者：

①正南附近，月在内道，先交后会(或先会后交)；

②东点附近，月在外道，先交后会(或先会后交)。

第四，亏起东北角者，东点附近，月在内道，先交后会(或先会后交)。

而景初历“求日蚀亏起角术曰：其月在外道，先交后会者，亏蚀西南角起；先会后交者，亏蚀东南角起。其月在内道，先交后会者，亏蚀西北角起；先会后交者，亏

蚀东北角起。"若与以上归纳的情况相对照,则可以说,杨伟对于日食亏起方位角的叙述是有科学根据的,但却不全面,且术文又是不明确的。

对于月食亏起角问题,景初历云:"月蚀在日之冲,亏角与上反也。"我们知道在条件相同时(指上述交食发生在南或东,月在日道内或外等条件),月食亏蚀角确与日食亏蚀角正相反,西南变东北,东南变西北,等等。对此,杨伟所做的叙述同样是不全面和不明确的,但又是有科学根据的。

综上所述,杨伟景初历的推交食术的层次分明,每一步骤均合科学道理。虽然尚存在不完善之处,但它还是可以视做我国古代对交食的研究进入成熟阶段的标志。在其后 300 多年中,它是大多数历法推交食术的范本,影响是很深远的。

最后,我们想用杨伟在上景初历表中的几句话作为本文的结语:(杨伟)"所作景初历,法数则约要,施用则近密,治之则省功,学之则易知。"统观全历,此说实非虚言。

(撰稿人:陈美东、车一雄)

第二节 陈 卓

一、生平简介

讲到中国的星象,往往要同陈卓的名字联系起来。史书并没有为陈卓留下专门的传记,但从现存的有关记述,大致还可以整理出他的生平梗概。



唐李淳风撰《隋书·天文志》(以下简称《隋志》)说:"三国时吴太史令陈卓始列甘氏、石氏、巫咸三家星官,著于图录;并注占赞,总有二百五十四官,一千二百八十三星,并二十八宿及辅官附坐一百八十二星,总二百八十三官,一千五百六十五星。"同为李淳风撰的《晋书·天文志》(以下简称《晋志》)又记道:晋"武帝时太史令陈卓总甘、石、巫咸三家所著星图,大凡二百八十三官,一千四百六十四星,以为定纪。"唐瞿昙悉达《开元占经》(以下简称《占经》)又云:"吴太史令陈卓与王蕃大同,作《浑天论》。"吴国建于公元 222 年至 280 年,晋武帝在位之年为 265 年至 290 年。陈卓既原任吴太史令,当于吴亡时,随末帝入晋仍为太史令。吴国王蕃,据《三国志·吴志》本传,于甘露二年(266)被杀,年 39 岁,当生于吴大帝孙权黄武七年(228)。《占经》称陈卓在吴任太史令时曾作《浑天论》而"与王蕃大同",又《三国志》《晋志》《隋志》与《占经》中,对《浑天论》一文均称引王蕃而未称引陈卓,则后者当稍



迟于前者。于此可知，王蕃被杀时，陈卓当约30许。14年后，吴亡入晋，他大约45～50岁。

晋武帝以后，西晋历惠帝（290－306）、怀帝（307－313）及愍帝（313—316）三朝。《晋志》又记道：怀帝永嘉三年（309）正月，“太史令高堂冲奏……是时，安东将军琅邪王始有杨土。其年十一月地动，陈卓以为是地动应也。”琅邪王司马睿即东晋元帝，那年初受命都督扬州江南军事。地动时，陈卓认为这现象同他掌权相符应。在西晋末年内忧外患交迫的艰难时期，他对司马睿承担起南方军国重任寄以希望。看来，陈卓于动乱的惠、怀时期，约六七十岁时曾更易官职，不做太史令了。太史令已改为高堂冲，但陈卓仍健在，虽年已70有余或接近80，仍得言机祥，参与天象的解析。

以后，晋室日益衰微，五胡乱华。汉国刘曜两次攻入洛阳，依次将怀帝、愍帝俘至汉都平阳（今山西临汾西南）。据《晋书·戴洋传》[①]云：“元帝将登阼，使洋择日，洋以为宜用三月二十四日丙午。太史令陈卓奏用二十二日。”所以他是在汉族大迁徙中，于317年至318年初之间到达建康，并在元帝处再次任太史令，此时陈卓当已80多岁了。

年已老迈的陈卓，为什么会在东晋复任太史令呢？这是有其原因的。他曾目睹司马氏之兴，统一天下，建立晋朝。他亦身历颠沛多难的西晋后期，甚至国破为奴，感触当然是极其深刻的。他能够顺应国家的统一跟随吴末帝自建邺入洛，然而却忍受不了归为臣虏的屈辱，不愿接受异族统治而奔元帝。可以看出，陈卓爱国观念强烈，具有浓厚的民族主义色彩。几次占文反映出陈卓早就将国家和民族的未来寄厚望于司马睿。所以他能以垂暮之年，重归石头城，投效江左。以他的天文学家前辈的声望以及对司马睿的推许等方面来看，新王朝必然会要他勉为其难，出任太史令了。毕竟，陈卓年事已高，此后就没有什么关于他活动的记载了。



从上述可知，陈卓约出生于三国吴大帝孙权黄龙末年至嘉禾初年（3世纪30年代初）。青壮年时期在吴国任太史令，精乎天文星象，善于星占，曾整理古籍。晋太康元年（280）吴亡入洛，时已中年，仍留任太史令，长期工作于著名的洛阳平昌门灵台。他经历了晋室八王之乱，约于惠、怀之际（3世纪末至4世纪初）可能因年事已高，不再任太史令[②]，但仍参与天文事务。五胡乱华起，怀、愍两帝相继被执，西

① 据《晋书·戴洋传》称，戴于“吴末为台吏，知吴将亡，托病不仕……王导遇病，台洋问之……陶侃谋北伐，洋曰……庾亮代镇武昌，复引洋问气候……所占验者不可胜纪。”则戴洋是一个知名的卜者。

② 按《晋书·职官志》，太常、光禄熏、卫尉、太仆等官，皆为列卿。太常属下有博士、协律校尉员等官职，又统辖太史令、太庙令、太乐令及太学博士等官。

晋亡。具有爱国主义精神的陈卓以耄耋之年，于北上37载之后，又间关跋涉，重返故地。在东晋的都城建康①，他参与了元帝的立国，约于4世纪20年代初期去世，享龄80余或近乎90。陈卓在吴、西晋、东晋三个朝代中历任太史令约40年，活跃于天文界半个世纪多，是我国历史上一个著名的天文与星占学家。

二、陈卓的著述

陈卓长期任太史令，终生以天文星占为业，著述甚丰，有关文献的记载如下：

《隋书·经籍志》记有陈卓的撰著五种：

天文集占十卷，晋太史令陈卓定；

陈卓四方宿占一卷，注云梁四卷；

五星占一卷，陈卓撰；

天官星占十卷，陈卓撰；

梁有石氏星经七卷，陈卓记。

《旧唐书·经籍志》记有三种：

天文集占七卷，陈卓撰

四方星占一卷，陈卓撰；

五星占二卷，陈卓撰。

《新唐书·艺文志》所载书名同，只《五星占》为一卷，从《隋书》可知《旧唐书》记二卷误。

《晋志》又记道："魏太史令陈卓更言郡国所入宿度，今附而次之：（略）。"②

李淳风撰《乙巳占》记有："今录古占书目于此：……《陈卓占》……"，"陈卓分野：（略）"。③



《占经》记有陈卓作《浑天论》，《晋志》及《隋志》记汇总三家星官，均见前。

综上可得陈卓编修的著述有下列七种：

①《天文集占》十卷；②《四方宿占》一卷；③《五星占》一卷；④《天官星占》十卷；⑤《陈卓分野》；⑥《浑天论》；⑦《甘石巫咸三家星官》。前四种为星占，⑤为衍自星占，⑥系单项论著，⑦是恒星名数的归纳整理。

三、关于陈卓的星占著作

古代的太史令，除天文以外还承担着一项与天文同等重要的任务，即星占。司

---

① 愍帝于建业元年(313)即位时，诏改建邺为建康。

② 此"魏太史令"承《晋志》前文当为"晋太史令"之误。

③ 《乙巳占》卷一《天占》及卷三《分野》。



马迁的名著《史记·天官书》中，几乎一半篇幅夹杂着星占。在连年兵燹时代，陈卓的撰著大量为星占也就不奇怪了。“二十四史”的天文志，从《史记》到宋、金国史始终联系着星占，构成了我国天文学史上的一个特点。

陈卓这四部星占，现在还可从《占经》和《乙巳占》看到不少遗文。后者沿袭《史记》体例，对早期同一作者星占诸书并用一个总称，陈卓著述合称“陈卓占”[①]，所引占语均不注出处，好在《乙巳占》篇目与引文均与《占经》大略相同，现钩摘梳理《占经》各卷陈卓引文，恰可按内容纳入上述占书名下，数量颇多，列举如下。

《天文集占》，有月犯、月晕、月蚀二十八宿及石氏中官 36 条。流星犯石氏中官及巫咸中外官 7 条。客星犯二十八宿、石氏中官、甘氏中官 27 条。彗星犯二十八宿、石氏中官、甘氏中官 36 条，另占语 1 条。虹蜺犯二十八宿 1 条。合共 108 条。

《四方宿占》或《四方星占》有东、北、西、南四方各七宿之占四卷，当为《四方宿占》，但无陈卓占文。

《五星占》有五星 3 条。岁星犯二十八宿及石氏中官 20 条。荧惑犯二十八宿、石氏中外官及甘氏中官 35 条。填星犯二十八宿及石氏中官 13 条。太白犯二十八宿及石氏中官 10 条，另占语 1 条。辰星犯二十八宿及石氏中官 18 条。合共 100 条。

《天官星占》。《占经》有石氏中官占、石氏外官占、甘氏中官占、甘氏外官占及巫咸中外官占五卷，从名称来看，当为《天官星占》。其中仅石氏中官占摘引“陈卓曰”3 条。

以上尚残存陈卓占文 211 条。东汉后期至晋代星占又流行起来。较早有《郗萌占》，后有刘表、刘璿父子《荆州占》，晋又有《韩杨占》等。从数量之多及时间之久来判断，陈卓应该是这一时代最著名的星占家。

星占阐释或援引所发生的天象，描述天象所采用的专业用词与天体本身同样具有决定意义，现据文献对这些占文所用的专用词作释义如下：

犯　月及五星同在列宿之位，光耀犯之，称犯。又，梁刘昭注《续汉志》引“孟康曰：‘犯，七寸之内光芒相及也。’韦昭曰：‘自下往触之曰犯。’”

宿　经过一宿而行，正常而不迟。宿即守的意思。

舍　入于一宿的宿度，或共行在一宿。

蚀　月与五星或列宿相遇，月掩星，星不见。

食　相侵为食。



① 据李淳风自称：“自人占已(以)后，并不复具记名字。非敢隐之，并为是幼小所习诵，前后错乱，恐失本真故耳”。

晕　日、月四周的光气。

经　在其中过而无所犯。

入　不该来而来。

守　居之不去。留住的意思。

干　犯的意思，即干预之意。

留　在宿位久住，住而不移。

陵　陵即凌，以小而逼大，自下而犯上。

出　不该去而去。

合　两星相及，同处一宿之中，芒角相及而同光。日月五星与宿星同舍。

乘　自上而为下，临迫。

历　依次相及而过，经历的意思。

此外，还有用两个字来表述天象的，含义与组成的字相同，如干犯、犯守、行宿、出孛、干历、干入、入守、犯入等。

陈卓星占所涉及的星宿，要算星月犯二十八宿最多，占 69%，其中较集中于斗、牛、女三宿，约占三分之一；余二十五宿占三分之二。

剩下有关犯石氏、甘氏及巫咸氏三家的占语，也极不匀称。绝大多数为石氏中官星，占语较多的为太微及建星。看来，斗、牛、女三宿及建星位于古代冬至点附近或许不无关系吧。

察看所涉及星官的分布，基本上有所集中：紫微右垣及外侧的文昌、北斗、相、太阳守、郎位、太微等；沿斗柄延伸的玄戈、招摇、大角、梗河、贯索等；紫微左垣外侧的扶筐、天棓、织女、天纪、帝座等；垣左另一侧的策、造父、螣蛇、王良、附路、阁道等。



以上四小区又左右相连，以钩陈为中心，沿恒显圈上下，约占天球北部的一半多些。恐怕这就是陈卓作星占所特别关注的天正。剩下只有沿黄道断断续续的一些零星星官。

陈卓的星占书自必卷帙甚丰。欲从残存占文来分析其特点，是颇为不易的。

四、陈卓分野与《浑天论》

“分野”之说，其源颇早，始见于《周礼·春官》，但较简单。仅称：“保章氏以星土辨九州之地，所封封域，皆有分星，以观妖祥。”以后，《淮南子·天文训》、《越绝书》及纬书亦讲到分野；《史记·天官书》及《汉书·天文志》均有绍述。《汉书·地理志》更将十二国配十二次与二十八宿，分别列出郡县范围，故《晋书·天



文志》道："班固取三统历十二次配十二野，其言最详。又有费直[①]说《周易》、蔡邕《月令章句》，所言颇有先后。魏太史令陈卓更言郡国所入宿度，今附而次之……"所附"州郡躔次"一节，除个别讹字外，与《乙巳占》卷三"陈卓分野"完全相同。例如末一段说："翼、轸、楚、荆州：南阳入翼六度，南郡入翼十度，江夏入翼十二度，零陵入轸十一度，桂阳入轸六度，武陵入轸十一度，长沙入轸十六度。"

自《周礼》保章氏发展到将二十八宿配以十二次与十二国，进而分列郡县，已有上千年的历史了。到陈卓，又变本加厉增添了一项新内容，即"更言郡国所入宿度"，将郡县视做天上的列星一般，因而李淳风直称"陈卓分野"。于是，分野变得更加琐屑繁冗了。此后历代史志，因袭沿用。直到明代，还编修《大明清类天文分野》，甚至将各省、布政司、府、州、县、卫、土司等一一列出入宿度数。宋周密曾指出："世以二十八宿配十二州分野，最为疏诞。"[②]然而这类无稽之谈之终于流布下来，陈卓由于擅长星占而起的倡导作用当是很有影响的。不过《晋志》对此分野又称："陈卓、范蠡、鬼谷、张良、诸葛亮、谯周、京房、张衡并云……"则亦可能分野为汉代所流行，陈卓加以整理，故名列首位。但现存纬书以及费直、蔡邕、未央等都有分野都较简单，那么，是陈卓在整理时添加了郡县的入宿度数，亦是相当自然的。

《占经》载陈卓早年在吴国任太史令时，曾著《浑天论》，内容与王蕃《浑天论》大旨相同。按王蕃（228—266）亦吴人。《三国志·王蕃传》记他"字永元，庐江人也……传刘洪乾象术，依乾象法制浑仪，立论考度曰：（下为《浑天论》，略）……"。他与陈卓均仕吴[③]，两人职务都接近内庭，有时常相处的机会。立论相同，势必志同道合。史书叙王蕃作论未道及陈卓，《占经》述陈卓而云"与王蕃大同"，故判定陈卓略迟于王蕃。我国古代论天八家[④]中，对天地构造问题，以浑天说较为近似，陈卓与王蕃都属于这一学派。



五、甘石巫咸三家星官的整理

对陈卓来讲，最能使他名传久远的，要算他对甘、石、巫咸三家星官名数的整理了。文献中，《晋》《隋》二志称引陈卓总三家星官，为历代论星者所宗。然《晋志》疏简，《隋志》计数矛盾，且缺分类，似均有不足。《占经》依三家之旧，较为详明。但最

① 《乙巳占》云："费直，字长翁，东莱人，仕前汉为单父令。"

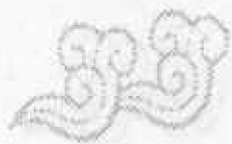
② 《癸辛杂识》"辨分野"。

③ 《三国志·王蕃传》记蕃"始为尚书郎，孙休即位为散骑中常侍……孙皓初复入为常侍。"

④ 论天八家为：一、浑天说（张衡）；二、宣夜说（佚师传）；三、盖天说《周髀算经》；四，安天论（虞喜）；五、昕天论或轩天论（姚信）；六、穹天论（虞喜）；七、方天论（王充）；八、四天论（袄胡寓言）。

早而最明确的，要算敦煌石窟的写本[①]（见图 3—8）了（以下简称《卷子》）。卷中“石氏甘氏巫咸氏三家星经”一节，起首即称“合赤、黑、黄星[②]，三家有二百八十三官一千四百六十四星。”其末再度称“合石甘氏巫咸三家星，总有二百八十三座一千四百六十四星。”可谓明朗之至。对于这二数的组成，则写本中各段，不论文前文后，均有记述。列成表式见表 3—1。

图 3—8　唐初写本中的三家星官（法国国立图书馆藏本）



① 唐武德四年(621)写本，见罗振玉影印《星占》，又见罗辑《鸣沙石室佚书》。原卷为法国伯希和(Paul Peliot)取去，藏法国国立图书馆，编号 MS 2512。

② 古代传统以石氏为赤星、甘氏为黄星、巫咸为黑星。



表 3—1　星官名数

星官编号	星官名称	星数			
		《卷子》	《隋志》	《占经》	论定数
1	摄提	6	6	6	6
2	大角	1	1	1	1
3	梗河	3	3	3	3
4	招摇	1	1	1	1
5	玄戈	1	2	1	1
6	天枪	3	3	3	3
7	天棓	5	5	5	5
8	女床	3	3	3	3
9	七公	7	7	7	7
10	贯索	9	9	9	9
11	天纪	9	9	9	9
12	织女	3	3	3	3
13	天市垣	22	22	22	22
14	帝座	1	1	1	1
15	候	1	1	1	1
16	宦者	4	4	4	4
17	斗	5	5	5	5
18	宗正	2	2	2	2
19	宗人	4	4	4	4
20	宗	2	2	2	2
21	东咸	4	4	4	4
22	西咸	4	4	4	4
23	天江	4	4	4	4
24	建	6	6	6	6
25	天弁	9	9	9	9
26	河鼓、鼓旗	9	9	9	9
27	离珠	5	5	5	5
28	匏瓜	5	5	5	5
29	天津	9	9	9	9
30	螣蛇	22	22	22	22
31	王良	5	5	5	5
32	阁道	6	6	6	6
33	附路	缺(1)	1	1	1
34	天将军	缺(12)	12	11	12、11
35	大陵	缺(8)	8	8	8



续表

星官编号	星官名称	星数			
		《卷子》	《隋志》	《占经》	论定数
36	天船	缺(9)	9	9	9
37	卷舌	6	6	6	6
38	五车、三柱	14	14	14	14
39	天关	1	1	1	1
40	南河、北河	6	6	6	6
41	五诸侯	5	5	5	5
42	积水	1	1	1	1
43	积薪	1	1	1	1
44	水位	4	4	4	4
45	轩辕	17	17	17	17
46	少微	4	4	4	4
47	太微	10	10	10	10
48	黄帝座	1	1	缺(1)	1
49	四帝座	4	4	缺(4)	4
50	屏	4	4	缺(4)	4
51	郎位	15	15	缺(15)	15
52	郎将	1	1	缺(1)	1
53	常陈	7	7	缺(7)	7
54	三台	6	6	6	6
55	相	1	1	1	1
56	太阳守	1	1	1	1
57	天牢	缺(6)	6	6	6
58	文昌	缺(6)	6	6	6
59	北斗,辅	缺(8)	8	8	8
60	紫微垣	缺(15)	15	15	15
61	北极,钩陈	11	11	11	11
62	天一	1	1	1	1
63	太一	1	1	1	1
64	库楼、五柱、衡	29	29	29	29
65	南门	2	2	2	2
66	平星	2	2	2	2
67	骑官	27	27	27	27
68	积卒	12	12	12	12
69	龟	5	5	5	5
70	傅说	1	1	1	1





续表

星官编号	星官名称	星数			
		《卷子》	《隋志》	《占经》	论定数
71	鱼	1	1	1	1
72	杵	3	3	3	3
73	鳖	14	14	14	14
74	九坎	9	9	9	9
75	败血	4	4	4	4
76	羽林、垒壁阵	57	57	57	57
77	北落师门	1	1	1	1
78	土司空	1	1	1	1
79	天仓	6	6	6	6
80	天囷	13	13	12	13
81	天廪	4	4	4	4
82	天苑	16	16	16	16
83	参旗	9	9	9	9
84	玉井	4	4	4	4
85	屏	2	2	1	2
86	厕	4	4	4	4
87	天矢	1	1	1	1
88	军市	13	13	12	13
89	野鸡	1	1	1	1
90	狼	1	1	1	1
91	弧	9	9	9	9
92	老人	1	1	1	1
93	稷	5	5	5	5
94	天皇大帝	1	1	1	1
95	四辅	4	4	4	4
96	华盖、杠	16	18	16	16
97	五帝内坐	5	5	5	5
98	六甲	6	6	6	6
99	天柱	5	5	5	5
100	柱下史	1	1	1	1
101	女史	1	1	1	1
102	尚书	5	5	5	5
103	阴德	3	2	2	2
104	天床	6	6	6	6
105	天理	4	4	4	4



续表

星官编号	星官名称	星数			
		《卷子》	《隋志》	《占经》	论定数
106	内厨	2	2	2	2
107	内阶	6	6	6	6
108	天厨	6	6	6	6
109	策	1	1	1	1
110	傅舍	9	9	9	9
111	造父	5	5	5	5
112	车府	7	7	7	7
113	人	5	5	5	5
114	杵	3	3	3	3
115	血	4	4	4	4
116	扶筐	7	7	7	7
117	司命	2	2	2	2
118	司禄	2	2	2	2
119	司危	2	2	2	2
120	司非	2	2	2	2
121	败瓜	5	5	5	5
122	河鼓左旗	9	9	9	9
123	天鸡	2	2	2	2
124	罗堰	3	9	3	3
125	市楼	6	6	6	6
126	斛	4	4	4	4
127	日	1	缺(1)	1	1
128	天乳	1	1	1	1
129	亢池	6	6	6	6
130	渐台	4	4	4	4
131	辇道	5	5	5	5
132	三公	3	3	3	3
133	周鼎	3	3	4	3
134	帝座	3	3	3	3
135	天田	2	2	2	2
136	天门	2	2	2	2
137	平道	2	2	2	2
138	进贤	1	1	1	1
139	谒者	1	1	1	1
140	三公内坐	3	3	3	3





续表

星官编号	星官名称	星数			
		《卷子》	《隋志》	《占经》	论定数
141	九卿内坐	3	3	3	3
142	内五诸侯	5	5	5	5
143	太子	1	1	1	1
144	从官	1	1	1	1
145	幸臣	1	1	1	1
146	明堂	3	3	3	3
147	灵台	3	3	3	3
148	势	4	4	4	4
149	内平	4	4	4	4
150	爟	4	4	4	4
151	酒旗	3	3	3	3
152	天樽	3	3	3	3
153	诸王	6	6	6	6
154	司怪	4	4	4	4
155	坐旗	9	9	9	9
156	天高	4	4	4	4
157	砺石	4	5	4	4
158	八谷	8	8	8	8
159	天谗	1	1	1	1
160	积水	1	1	1	1
161	积尸	1	1	1	1
162	左更	5	5	5	5
163	右更	5	5	5	5
164	军南门	1	1	1	1
165	天潢	5	5	5	5
166	咸池	3	3	3	3
167	月	1	1	1	1
168	天街	2	2	2	2
169	天阿	1	1	1	1
170	青丘	7	7	7	7
171	折威	7	7	7	7
172	阵车	7	3	3	3
173	骑阵将军	1	1	1	1
174	车骑	3	3	3	3
175	糠	1	1	1	1



续表

星官编号	星官名称	星数			
		《卷子》	《隋志》	《占经》	论定数
176	农丈人	1	1	1	1
177	狗	2	2	2	2
178	狗国	4	4	4	4
179	天田	9	9	9	9
180	哭	2	2	2	2
181	泣	2	2	2	2
182	盖屋	2	2	2	2
183	八魁	9	9	9	9
184	雷电	6	6	6	6
185	云雨	4	4	4	4
186	霹雳	5	5	5	5
187	土公	2	2	2	2
188	士公吏	2	2	2	2
189	铁锧	5	缺(5)	5	5
190	天溷	7	7	7	7
191	外屏	7	7	7	7
192	天庾	3	4	2	3
193	刍藁	6	6	6	6
194	天园	13	13	13	13
195	九州殊口	9	9	9	9
196	天节	8	8	8	8
197	九斿	9	9	9	9
198	军井	4	4	4	4
199	水府	4	4	4	4
200	四渎	4	4	4	4
201	阙丘	1	3	2	2
202	天狗	7	7	7	7
203	丈人	2	2	2	2
204	子	2	2	2	2
205	孙	2	2	2	2
206	天社	6	6	6	6
207	天纪	1	1	1	1
208	外厨	6	6	6	6
209	天庙	14	14	14	14
210	东瓯	5	5	5	5





续表

星官编号	星官名称	星　数			
		《卷子》	《隋志》	《占经》	论定数
211	器府	32	32	32	32
212	太尊	1	1	1	1
213	三公	3	3	3	3
214	大理	2	2	2	2
215	女御	4	4	4	4
216	天相	3	2	3	3
217	长垣	4	4	4	4
218	虎贲	1	1	1	1
219	军门	2	2	2	2
220	土司空	4	4	4	4
221	阳门	2	2	2	2
222	顿顽	2	2	2	2
223	从官	2	2	2	2
224	天辐	2	2	2	2
225	键闭	1	1	1	1
226	罚	3	3	3	3
227	列肆	2	2	2	2
228	车肆	2	2	2	2
229	帛度	2	2	2	2
230	屠肆	2	2	2	2
231	奚仲	4	4	4	4
232	钩	9	9	9	9
233	天桴	4	4	4	4
234	天籥	8	8	8	8
235	天渊	10	10	10	10
236	齐	1	1	1	1
237	赵	1	2	2	2
238	郑	1	1	1	1
239	越	1	1	1	1
240	周	2	2	2	2
241	秦	2	2	2	2
242	代	2	2	2	2
243	晋	1	1	1	1
244	韩	1	1	1	1
245	魏	1	1	1	1



续表

星官编号	星官名称	星数			
		《卷子》	《隋志》	《占经》	论定数
246	楚	1	1	1	1
247	燕	1	1	1	1
248	离瑜	3	3	3	3
249	天垒城	13	13	13	13
250	虚梁	4	4	4	4
251	天钱	10	10	10	10
252	天纲	1	1	1	1
253	铁钺	3	3	3	3
254	天厩	10	10	10	10
255	天阴	5	5	5	5
256	角				
257	亢				
258	氐				
259	房				
	钩钤				
260	心				
261	尾				
	神宫				
262	箕				
263	南斗				
264	牵牛				
265	须女				
266	虚				
267	危				
	坟墓				
268	营室				
	离宫				
269	东壁				
270	奎				
271	娄				
272	胃				
273	昴				
274	毕				
	附耳				
275	觜觿				





续表

星官编号	星官名称	星数			
		《卷子》	《隋志》	《占经》	论定数
276	参				
277	东井				
	钺				
278	舆鬼、积尸				
279	柳				
280	七星				
281	张				
282	翼				
283	轸				
	长沙				
	辖				
	合计	1464	1470	1419	1464,1465

三家星组成表见表 3—2。《卷子》中的三家星图见图 3—9。

表 3—2 三家星组成表

三家名称	三家星组成		三家星分计
	座数	星数	
石氏 28 宿	28	182	
石氏中官	64(应为 63)	270(应为 370)	石氏合 121 座 809 星
石氏外官	30	257	
甘氏中官	76	281	甘氏合 118 座 511 星
甘氏外官	42	230	
巫咸中外官	44	144	巫咸氏 44 座 144 星
三家中外官小计 加二十八宿	256(应为 255) 28	1182(应为 1282) 182	
三家星官合计	283 官	1464 星	



《卷子》抄于唐武德四年(621),《隋志》成于显庆元年(656),《占经》辑于开元六年至十四年(718—726)间。现依成书先后,分别摘引并加论定。论定各座星数时,

图 3－9　敦煌《卷子》中的三家星图

值得注意的为天将军，序号 33。《卷子》缺，《隋志》作 12 星，《占经》作 11 星[①]。《卷子》石氏中官所缺八座中，七座星数均无疑问；天将军星数，从石氏合 809 星及中官 370 星（270 之"二"为"三"字漏一画）倒算，则应作 12 星，而非 11 星。但《占经》及

① 《晋志》"天文经星"一节，亦作天将军 12 星，而《占经》卷一〇六"星图"一节，亦作天将军 11 星，可知两者均非笔误。



其后的《步天歌》与《新代象法要》均作 11 星，故论定数将 12 与 11 并列，作为一颗关键性的星。表 3—2 中三部书需校正的星座及星数为：

《卷子》，合计 1403 星。缺附路、天将军、大陵、天船、天牢、文昌、北斗及辅、紫微垣八座，据论定数添补 64 星，星数外加括号。另修正阴德、阵车、阙丘、赵四座，综合后应减去 3 星。得总数 1464 星，其中天将军 12 星。

《隋志》，合计 1470 星。缺铁锧、日雨座，据论定数添补 6 星。又修正玄戈、华盖、罗堰、砺石、天庾、阙丘、天相七座，综合后应减去 11 星。得总数 1465 星，天将军亦 12 星，多了神宫 1 星。

《占经》，合计 1419 星。缺黄帝、四帝、屏、郎位、郎将、常陈六座，据同书卷一〇六“星图”及论定数添补 32 星。又修正天囷、屏（参南）、军市、周鼎、天庾、天庙六座，应增加 13 星。得总数 1464 星，其中有神宫而天将军减作 11 星，故亦为 1464 星。

至于官数或座数，表 3—2 依《卷子》，序号 1 至 63 为石氏中官 63 座，64 至 93 为石氏外官 30 座，中外官两共 93 座，加上 28 宿，石氏合 121 座，94 至 169 为甘氏中官 76 座，170 至 211 为甘氏外官 42 座，两共 118 座，212 至 255 为巫咸中外官 44 座。三家中外官合共 255 座；第 256 至 283 为石氏二十八宿；总计 283 座。各数相加，与《卷子》小计所称皆吻合。此“283 官 1464 星”即表 3—2 所列。至于《隋志》“天文经星”一节称三家“有 254 官”，从其内容及行文格式与体例看，则是将东咸西咸并为 1 座，与《占经》相同，故中外官比《卷子》减少 1 官；又称“总 283 官”，则 283 为依陈卓旧数。《占经》在计数上相加共 282 官，是由于石氏中官将东咸西咸合为 1 座，编为“东西咸占二十一”，其下为“天江星占二十二”[1]，故得石氏中官 62 座而非 63 座[2]（余均与《卷子》同），总计减为 282 官。综合地说，《占经》与《卷子》相异处，为石氏中官 62 座 369 星（天将军 11 星，少 1 星）及二十八宿 183 星（多神宫 1 星），即石氏合计 120 座 809 星，因此得 282 官 1464 星。

以后的《新仪象法要》星图，即依上述标准，“总名 283[3]，星数 1464”。其中将天将军减作 11 星，有神宫 1 星。

因此得结论为：283 官与 282 官之别，在于东咸西咸是否合并为 1 座；1464 与 1465 星数不同，因天将军星数作 12 或 11 及有无神宫而异。陈卓原本，应是两咸为两座，天将军 12 星而无神宫。初唐以后，添了神宫变成 1465 星，见《隋志》；但李淳



① 见《占经》卷六五“石氏中官占上一”。

② 见《占经》卷六七“石氏中官占下三”，末一星为“太一星占六十二”。表 3—2 太一星序号为 63，故相差一官。

③ 这里，东咸与西咸分为二座，故共 283 官。

风显然觉察到修改陈卓原数的不妥，故《晋志》虽内容未变，却统称“大凡283官1464星，以为定纪。”嗣后又有人将天将军减少1星，使符合陈卓1464原数，并承袭用于《步天歌》，沿用至后世。以上就是承传迄今传统星座星数的始末踪迹。

陈卓总石氏、甘氏、巫咸氏三家星官时，利用了三家的星图，汇为一体。故陈卓所绘星图，实即石、甘、巫咸三家星图。据《卷子》所记，图上用赤、黄、黑三色分别表示石氏星、甘氏星与巫咸星。史书所载，南北朝天文家钱乐之、周坟、祖冲之、庾季才等人所绘星图，莫不皆宗三色陈卓星图。流传迄今的《敦煌星图》与《新仪象法要》星图，亦显然有承袭陈卓星图的痕迹。其影响之深远，可想而知，对恒星体制的确立这一项来说，陈卓的功绩是巨大的。

六、巫咸星占的假托

巫咸氏附于甘、石之后，虽由来已久，查观早期典籍，却只有其名，而无其占。司马迁修《史记》撰天官、律、历三书，马续作《汉书》天文、律历二志，都屡屡引甘氏、石氏天文星占而无巫咸氏。《天官书》说：“昔之传天数者：高辛之前，重、黎；于唐、虞，羲、和；有夏，昆吾；殷商，巫咸；周室，史佚、苌弘；于宋，子韦；郑则裨灶；在齐，甘公；楚，唐昧；赵，尹皋；魏，石申夫。”[①]周室以下各家，散见史籍，当无疑义。远古时代的几位，虽属传说，以吾国天文学发达之早，自亦为典型人物的概括。对于巫咸氏这特定人物来说，《史记》《汉书》不见摘引。刘宋裴骃《史记》的《集解》，唐司马贞的《索隐》与张守节的《正义》，以及颜师古注《汉书》，都只引石氏、甘氏而无巫咸氏。与陈卓同时期的晋司马彪《续汉书》，所存“天文”、“律历”二志，亦只征引甘、石而无巫咸。至6世纪上半叶梁刘昭注各“志”，方才广引《荆州占》、《海中占》、《韩杨占》等(《隋书·经籍志》有著录)星占书，始摘引“巫咸曰”，有五星占6条。可知汉晋以前，并无《巫咸星经》或《巫咸星占》，它必定是汉末三国以后所假托的。篇名最早见于文献的，就是《晋志》《隋志》的吴、晋太史令陈卓“始列甘、石、巫咸三家星官”[②]。于此可见，巫咸星官实为陈卓所假托。马续稍早于陈卓，司马彪(？—约306)与陈卓同朝为官，故《汉书》与《续汉书》“天文”、“律历”诸志，不引证陈卓假托的巫咸著作，实属势所必然。



陈卓为什么要在甘、石之外，假托增添第三家星官呢？甘、石是战国时人，各有一家之言，曾各自将天上星座选取一批作为自己星占的对象和依据。《占经》282

① 《续汉志》亦说：“星官之书自黄帝始。至高阳氏，使南正重司天……汤则巫咸……魏石申夫，齐国甘公，皆掌天文之官。”内容与《史记》的略同。

② 其他有关巫咸的著作，有《隋书·经籍志》列“《巫咸五星占》一卷”，大致即梁刘昭注《续汉书》所引“巫咸曰”的原本。新旧《唐书》的经籍、艺文等志，亦列甘、石而无巫咸。



官中，192官甘氏有占文，占68.1%；135官石氏有占文，占47.9%。甘石二人均有占文者共72官，达1/4。石氏中有66%甘氏亦有占文，甘氏中亦有9%与石氏同占。似此，则石氏星官的成立应较早，甘氏星官应较晚，故甘氏绝大部分（91%）在石氏之外，性质属于补充，又将石氏的大部分星官亦取而占述，以示完备。在百家争鸣时期，这是常态。

石、甘二人的星官合共242座，还未能均衡地囊括全部星空。例如自斗至危五宿附近，黄道上下，就留下一大片空白。巫咸星官主要是填补这一片空白。另外自亢至箕的黄道南北以及还有若干处所，亦零星补充了一些。在44官中，除与石氏重复的4官①外，实补40官，而上述斗、危空白天区就占了一半。其中键闭相当于天官书的辖（读如辖），余者史、汉都未道及。44官几乎全都是较微弱的星，在三等以下，基本上为五、六等星。从星座的组成来说，很明显，巫咸氏的星是在甘石以后，有些甚至是在汉代补加进去的。由此，全天星座就较完整了。这些星恐怕是在数百年的过程中陆续为人命名添补，经陈卓整理汇集，加以托名，从而提出石、甘、巫咸三家星官的称谓。

观察星名的构成，也可见其端倪。例如巫咸星官的大理，那是秦汉时期的官职。又如十二国，除战国七雄及春秋末年的主要国家晋、郑、越与周室外，还出现一个"代"。它当然不会是为赵襄子所灭的小小古国代，因为这样的小古国太多了，而是公元前228年赵为秦灭后，公子嘉北奔而建立的代，于公元前222年灭于秦，已是秦始皇统一天下的上一年了。

那么，陈卓又为何要假托巫咸之名呢？石、甘二人，时代早，名声大，《星经》的政治和学术地位都很高。如果用陈卓自己的名字来合称三家星，是难于被人接受的。只有假托古人，方显得有权威性。至于他自己，尽可同东汉郗萌，汉末刘表、刘璿，以及同时代的韩杨那样，另撰占书，事实上他也这样做了。找个古人来假托，类似太史公论天文所提到的那一批代表人物，最为理想。《左传》《国语》述及的几个名家，亦可列选。但春秋以后的人，其言行史籍均有所论载，增托颇有未便。商以前，去甘、石太远，亦难相称。殷商巫咸，似稍适乎其中。不像重、黎杳渺，亦不如子韦、裨灶明确。《书经》和《离骚》提到过他的名字，尤其是他与陈卓同为吴人②。因此，为了使全天星官趋于完备，陈卓将甘、石两家的星经增补为石、甘、巫咸三家星官而假托巫咸之名，看来相当自然。



① 此重出石氏四官为：天相、土司空、车肆及天桴。

② 《苏州府志》云："巫咸坟在平门东北三里。巫咸，商大戊时贤臣也。"《史记正义》又说："巫咸，殷贤人也，本吴人，冢在苏州常熟海隅山上。子贤，亦在此也。"

七、结语

综上所述，陈卓青年时代即整理了甘氏、石氏的星官。他又取历代相传的微星托以巫咸之名。剔除个别相重者，取甘、石 239 官 1320 星[①]，加上巫咸 44 官 144 星，成为三家星官 283 座 1464 星。故《晋志》称为“始列”，并“以为定纪”，成了典范。唐王希明作《步天歌》，虽改组星空，称三垣二十八宿，但星座名数，悉依陈卓之旧。宋代屡加施测，亦巍然未动。直到明末，流传 14 个世纪，并无丝毫变易，成为我国恒星组织的传统。明末清初，传教士西来，改变了星数座数，然星名却未敢更改。可以说，中国的星座，其汇编始于石申夫与甘公，却总结于陈卓的“定纪”，他的贡献是极为突出的。

陈卓历任数朝太史令，著星占书，亦涉猎天体宇宙之说，执天文界之牛耳达半个世纪。当甘石星经几经流传行将散失之际，他祖述定列三家星官，保存了我国星象传统，成为中国天文学的一个特色。垂老重返故里，报效祖国，可谓尽瘁一生于国家的天文事业。

（撰稿人：潘鼐）

第三节 虞 喜

一、生平简介



虞喜(281—356)，字仲宁，会稽余姚（今浙江省余姚市）人。生于魏国末年，历西晋，至东晋中期卒。虞喜出生于官僚仕族家庭。父亲虞察，是三国时吴国的征虏将军[②]。胞弟虞预，在东晋成帝、康帝、穆帝时，曾任著作郎、散骑常侍等官，进爵平康县侯。预雅好经史，著《晋书》《会稽典录》等[③]。虞喜的族曾祖虞翻，是吴国的名士，曾为《易》《老子》《论语》《国语》作出训注[④]。族祖虞耸，是虞翻的第六子，在吴国曾任越骑校尉、河间太守等职，入晋以后，为河间相，是《穹天论》的作者。虞耸与虞察的关系也很密切，虽各自在外做官，也常有书信往来[⑤]。

① 即表 3－2 石氏 121 官 809 星，甘氏 118 官 511 星。
② 《晋书·虞喜传》。
③ 《晋书·虞预传》。
④ 《三国志·吴书·虞翻传》。
⑤ 《三国志·虞翻传》引《会稽典录》。



虞喜从少年时起，就有很高的声望，他博学好古，受到人们的一致赞扬。诸葛恢到会稽郡做官，强迫虞喜充任他手下的功曹。大约此事曾给他很大的刺激，从此便立下终生不仕的决心。怀帝、明帝、成帝时，曾多次征他出来充任博士、贤良、散骑常侍等官，都被一一拒绝了。穆帝初年(345)，因一个案件，朝议做不出结论，曾派出使者专门听取他的意见。可见朝廷对他一直都很重视。

成帝时，内史何充曾称赞虞喜"博闻强识，钻坚研微，有弗及之勤。"成帝则下诏嘉他"守道清贞，不营世务，耽学高尚，操擬古人。"从这些评语可以看出，虞喜安于简朴的生活，是一位终生从事学术研究的学者。

《晋书·虞喜传》说："喜专心经传，兼览谶纬，乃著《安天论》，以难浑盖，又释《毛诗略》，注《孝经》，为《志林》三十篇。凡所著述数十万言，行于世。"由此记载可知，虞喜毕生所从事的学术工作，仍是继承家学，偏重于对经典著作的研究和训注。《晋书》所载《安天论》，仍是虞喜研究古代文献时有感而发而已。即使从虞喜发现岁差一事来说，也只是他在整理对比天文学文献时的发现。但正是由于他在天文学上的这两项论述，在历史上却留下了不可磨灭的痕迹，使他以中国著名的天文学家闻名于世。

虞喜发现岁差，在中国天文学发展史上尤其具有划时代的意义。令人遗憾的是，在《晋书》《宋书》中却没有任何反映。之所以会产生这种现象，与《晋书》《宋书》的作者有关。后世流传的《晋书》，是唐初房玄龄等人修撰[①]，其中的《天文志》《历志》由李淳风撰写。由于李淳风不相信有岁差，所以虞喜的这一重大发现不予承认。因此在《晋书·天文志》和《虞喜传》中谈及虞喜在天文学上的贡献时，都仅记载《安天论》。《宋书》由沈约著于南齐和梁初，那正是祖冲之大明历受阻，众议附和戴法兴之后不久的事。虞喜有关岁差论著的散失，是中国天文文献的一种损失。



二、创立《安天论》

继两汉时出现盖天、浑天、宣夜三家论天学派以后，在魏晋时，又在此基础上出现昕天论、穹天论和安天论，合称六朝三家。表明我国古代在探讨宇宙理论方面出现了百家争鸣生动活泼的局面。

六朝三家与两汉三家在表现形式上有所不同，虽然在观点上不一致，但相互之间却存在着极为密切的关系。从时间上说，三者相距还不到 100 年，从地域上说，均出现在会稽地区。

姚信是吴国武康(今属浙江德清县)人。他所创立的昕天论，实际是对浑天说

① 据《辞海》说，唐初以前所撰《晋书》有十八家之多，虞预的《晋书》是其中之一。

的一种演变。昕天论同样也以地平为基础。姚信认为天球沿着倾斜的极轴做周日旋转。不同之点在于，他认为四季的变化，是由于天球相对于地体沿极轴发生周期性的移动形成的：由于极轴向北倾斜，当天球上升时，北极上升，离人远；太阳附着在天球上，也随之上升，离地高，接近北方，所以距人近；这时太阳在地下运行的时间少，便发生由冬向夏的变化，当天球下降时，北极下降，离人近。太阳也随之下降，离地近，偏向南方，所以距人远；太阳在地下运行的时间多，便发生由夏向冬的变化。这是对于解释太阳运动方位变化和四季成因的一种独特的设想，它以天球在极轴上相对于地体位置的移动，来取代太阳在黄道上的周年变化。这是一种很有趣的假设，只要太阳与恒星不在同一层天球上，则太阳方位的变化、四季寒暖的变化以及太阳在恒星天球上视位置的变化，都得到了较为准确的解释。

虞耸的《穹天论》大约作于入晋以后。其主要观点认为"天形穹隆，如鸡子"，故取名为"穹天"。天的边缘与四海相接。天之所以不下沉，是由于气充托在其中。就这点来说，似与张衡、陆绩等浑天家接近。但是，它对太阳运动的解释基本上是属于盖天观点。整个学说并不太严密。不过，虞耸却提出了一个明确的天球实体概念。

虞喜的《安天论》作于成帝咸康中(340 年左右)。残留至今有关《安天论》的文字如下①：

> 天高穷于无穷，地深测于不测。天确乎在上，有常安之形；地魄焉在下，有居静之体。当相覆冒，方则俱方，圆则俱圆；无方圆不同之义也。其光曜布列，各自运行，犹江海之有潮汐，万品之有行藏也。

虞喜的《安天论》，虽不足 100 个字，却具有极强的战斗性。他认为，宇宙是没有边际的，又是很安定的；天和地无方圆不同之理；所有天体都有自己的运动周期，以自己的轨道运行，并不是附着在一个固定的球壳上。



因此，安天论既否定了天圆地方说，又批判了天球具有固体壳层的思想，同时也回答了杞人忧天倾的疑虑②。《晋书·虞喜传》说："乃著《安天论》，以难浑、盖。"说的就是这个意思。浑天说以假想的天球来描述天体的位置和视运动，在这点上说，是成功的。但有些浑天家把假想的天球看成是一个物质实体，那就不准确了。虞喜所要批评的正是这个观点。但是，虞喜的这个正确的观点却受到同时代学者葛洪的批驳。葛洪说："苟辰宿不丽于天，天为无用，便可言无，何必复云有之而不动乎？"看来，虞喜曾经认为天只是包围着大地的元气，天体各自按自己的轨道在元气间运动。正是这个观点，才引起葛洪的反驳。葛洪这种自以为是的说法却不符

---

① 以上三家学说，均见载于《晋书·天文志》。

② 杞人忧天的故事，请参见东晋张湛《列子·天瑞篇》。



合事实，而《晋书·天文志》的作者李淳风赞美葛洪的说法是“知言之选”，那就更错误了。事实上，虞喜的安天论比葛洪僵化的硬壳天球概念要高明一些。

《晋书·天文志》说：“虞喜因宣夜之说作《安天论》。”因此虞喜是信仰宣夜说的。他不信《昕天论》和《穹天论》，因有所感而作《安天论》。《晋书》《宋书》所引《安天论》，只是述其要点而已。《唐书·经籍志》载《安天论》一卷，但原著已经散失。因此，《安天论》决不是如今天所看到的这一点内容。《安天论》是对宣夜说的继承和发展。李约瑟《中国科学技术史》和中国天文学史整研小组《中国天文学史》对宣夜说都曾给以很高的评价。宣夜说因受到葛洪、李淳风等人的反对而受阻，以致湮没无闻，这是很为可惜的。

三、发现岁差

发现岁差，这是虞喜在中国天文学史上的杰出贡献，是中国历代天文学家所一致公认的事实。

由于中国上古时代的度量系统主要是赤道式的，而且采用入宿度这种以赤经差的特殊表述方式，致使发现岁差较晚。寒暑往返一次，称为一岁。寒暑受太阳南北方位变化的影响。作为天文学上的一个标志，按照中国的传统，都以中午日影长度的变化来确定季节。日影最长时称为日长至，最短时称为日短至。与季节相对应，又称为冬至和夏至。

然而，中国最古老的用于确定季节的标准却是恒星的出没方位。例如利用昏旦中星和在地平线上初见的恒星来定季节。以昏旦中星和始见星定季节，实际就是用这些星来确定太阳所在的方位。随着天文学的进步，人们发现以这种方法所定的太阳位置不太准确，才逐步改用其他更精密的方法。中国第一次获得太阳冬至点的位置是牵牛初度，当时人们都以为，凡冬至时，太阳必在牵牛初度。因此，战国秦汉的天文学家在编订历法时，都以此作为立法的根据。东汉以后，人们通过实测发现，冬至点不在牛初，而在斗 21 度。然而，当时人们并没有认识到它的科学意义。



由于刘宋戴法兴和唐初李淳风等不承认有岁差，影响到在《晋书》和《宋书》中都不予记载。而虞喜有关岁差的著作也已散失，致使虞喜是如何发现岁差的，找不到任何直接的证据。现仅依据历代天文学家转述，探讨一下虞喜论述岁差的详细内容。

一行说：“古历日有常度，天周为岁终，故系星度于节气。其说似是而非，故久而益差。虞喜觉之，使天为天，岁为岁，乃立差以追其变，使五十年退一度。”[①]这段

① 《大衍历议·日度议》，见《新唐书·历志三上》。

话告诉我们，虞喜曾指出，古历将节气与星度相联系是不正确的，寒暑变化一次不等于太阳在恒星间运行一周。因此便分清了周天与周岁的不同概念。并且求出了二者具体的差数为50年退1度。这个差数便称之为岁差。其含义是说，太阳在黄道上运动，经过一岁之后，并未回到原处，尚差五十分之一度（赤经差）。这个岁差概念，与近代所理解的并不完全一致（图3－10）。岁差形成的科学原理，则从未有人做出过解释（图3－11）。至于岁差是否也会对恒星的方位发生影响，那是更没有涉及过的问题。虞喜是如何发现岁差的，一行并未做出交待。

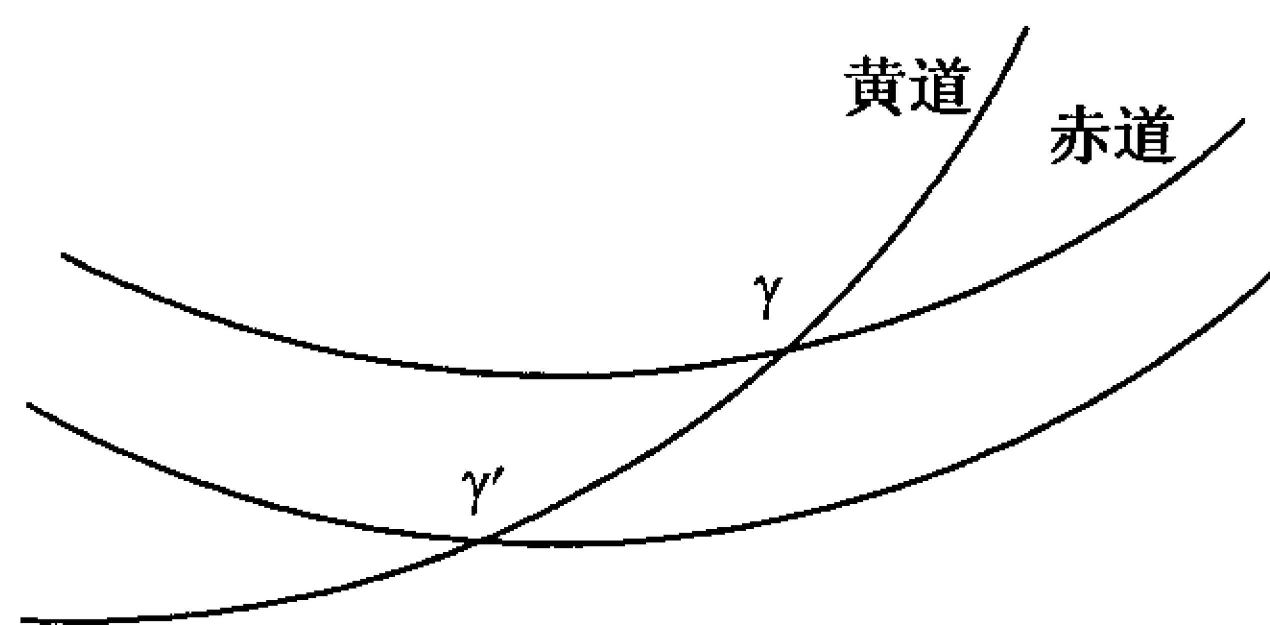


图3－10　春分点岁差

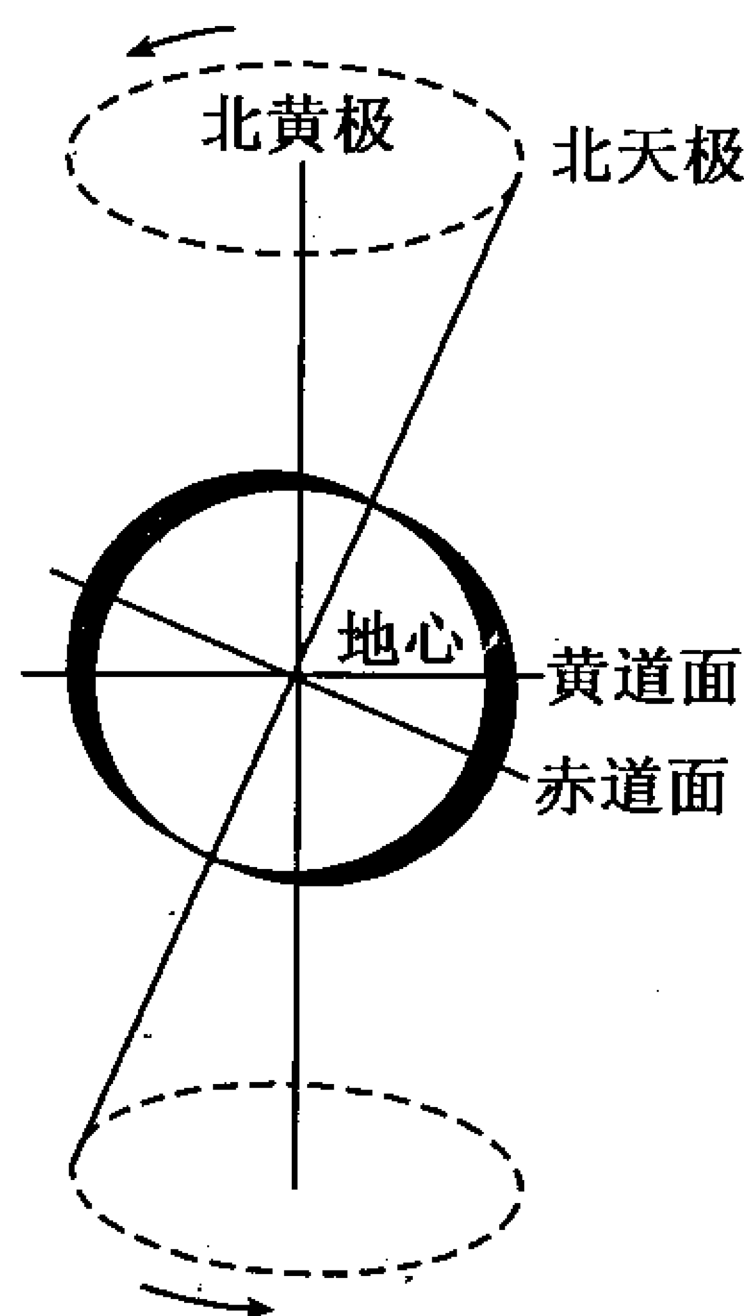


图3－11　岁差的成因

北宋周琮在《论历》中指出："虞喜云：'尧时冬至日短星昴，今二千七百余年，乃东壁中，则知每岁渐差之所至。'又何承天云：'尧典日永星火以正仲夏，宵中星虚，以正仲秋。今以中星校之，所差二十七八度。即尧时冬至，日在须女十度'。"①从周琮的《论历》中可以得知，虞喜发现岁差，主要是通过冬至昏中星的对比得到的。

① 《明天历·论日度岁差》，见《宋史·律历志七》。



依《尧典》所载冬至昏中星为昴星，而在虞喜的时代，冬至昏中星为壁 8 度太强[①]。这就是说，从帝尧至东晋这段时间内，冬至昏中星已从昴宿，经胃宿(14)、娄宿(12)、奎宿(16)，退行至壁宿 8 度余，合计退行近 51 度。虞喜估计唐尧时代相距 2700 余年，由此可求得约 53 年岁差 1 度。与一行所说相合。

何承天没有谈及虞喜发现岁差，但在《元嘉历》中也曾讨论过岁差。他注意到在《尧典》四仲中星内，仲夏日永星火，仲秋宵中星虚，与仲冬日短星昴不相对应。他以《尧典》仲春、仲夏仲秋昏中星与元嘉时的昏中星相比较，所差二十七八度，于是认为岁差仅百年才差 1 度。何承天的这段议论，大约是因虞喜发现岁差而进一步提出的商榷意见。

祖冲之首先在《大明历》中引进岁差计算。他在大明六年(462)所上改历表文中说：

> 《尧典》云日短星昴以正仲冬。以此推之，唐代冬至，日在今宿之左五十许度。汉代之初，即用秦历，冬至日在牵牛六度[②]。汉武改立太初历，冬至日在牛初。后汉四分法冬至日在斗二十一。……旧法并令冬至日有定处，天数既差，则七曜宿度渐与历舛。……今令冬至所在，岁岁微差，却检汉注，并皆审密，将来久用，无烦屡改。又设法者，其一以子为辰首，位在正北，爻应初九，斗气之端。虚为北方，列宿之中，元气肇初，宜在此次。前儒虞喜，备论其义。

按照祖冲之的说法，这段话的意思，有些是引自虞喜的论述。但虞喜说过哪些话，我们是无法分清的。《尧典》四仲中星，仅仅是一条孤证，太初历和后汉四分历所用冬至点，虞喜在讨论岁差时不可能不做出讨论。



四、两次有无岁差的辩论

虞喜发现岁差以后，虽然立即得到何承天、祖冲之等科学家的承认和应用，但也遇到两次大的争论。一次是刘宋大明年间，一次在唐代初年。这两次辩论，虽然虞喜已不在人世，但却关系到虞喜命题的正确与否及所列证据是否稳固可靠，现简述如下。

大明六年，祖冲之上改历表文，在新历中做出了几项重要革新，其中包括引进岁差。新历受到宋孝武帝宠臣戴法兴的反对，他说：

> 古历冬至皆在建星。战国横骛，史官丧纪，爰及汉初，格候莫审。后

---

① 引自《元嘉历》，载《宋书·律历志下》。

② 秦用颛顼历，立春日在营室五度，以古度计，冬至日仍在牛初。祖冲之误以今度推算，故说冬至日在牵牛六度。

杂觇知在南斗二十一度，元和所用，即与古历相符也。逮至景初，而终无毫忒。《书》云：日短星昴，以正仲冬，直以月维四仲，则中宿常在卫阳。羲和所以正时，取其万世不易也。冲之以为唐代冬至日在今宿之左五十许度，遂虚加度分，空撤天路。①

戴法兴在这里除给祖冲之扣上“诬天背经”等空洞的大帽子以外，对历史上的冬至点，认为自古就在建星。元和所测斗21度，也与此相符。至晋代仍未变动。因此所谓岁差，纯属虚构。至于《尧典》所载四仲中星，皆在黄道上，仅是说尽管月行有四仲的变化，日行则始终在卫阳(即在黄道上运行)。《尧典》讲的是终古不变的道理，并不是指尧时实测冬至昏中星在昴宿。并且以《诗》“七月流火”、小雪“定之方中”和《论语》“火伏而后蛰者毕”等记载，作为季节与出没恒星终古不变的证据。

对于戴法兴的议论，祖冲之曾上了一个《辩折》，做出了回答。指出所谓古六历，只是周末汉初的托古之作，不能理解为上古三代实用的历法，因此，所谓三代恒用建星作为冬至日行，是靠不住的。所谓《尧典》日行卫阳，实属似是而非，所言与季节不合。所列《诗经》等星象，正好证明确有岁差。并指出现时实测冬至日行已在斗11度，冬至点在西退的证据越来越明显。祖冲之的论证证据确凿，只是难以为时人所理解。

祖冲之以后，南北朝的历法家渐已接受岁差的概念，并且引用入历。只是到了唐朝初年，却又经历了一次大的反复。戊寅历于唐高祖武德二年(619)颁行后，诏吏部考其得失。算历博士王孝通提出用岁差谬误，用定朔不宜两条批评意见，他在批评岁差时说：



“日短星昴，以正仲冬”。七宿毕见，举中宿言耳。举中宿则余星可知。仁均专守昴中，执文害意，不亦谬乎？又《月令》仲冬昏东壁中，明昴中非常准。若尧时星昴昏中，差至东壁，然则尧前七千余载，冬至昏翼中，日应在东井。井极北，去人最近故暑，斗极南，去人最远故寒。寒暑易位，必不然矣。

王孝通把黄道和岁差引起的日行轨迹分开考虑，嘲笑寒暑倒易，只能说明他认识短浅，思想偏执。对此，傅仁钧说②：

孝通未晓，乃执南斗为冬至常星。夫日躔宿度，如邮传之过。宿度既差，黄道随即变矣。

做出的回答是很简明的。王孝通的反对意见不足取。但争议并未就此结束，比

① 《宋书·律历志下》。

② 以上辩论见《新唐书·历志一》。



此稍迟的李淳风，也坚持反对岁差之说。李淳风是唐代很有影响的天文学家，他制定的麟德历也不用岁差。李淳风曾著文批驳有岁差的论述，今已散失。在《乙巳占》中收录有部分残篇，其余散失的部分，从《大衍历议·日度议》中尚隐约可见。

王孝通和李淳风皆以为冬至日在斗13度。李淳风以为："太初元年得本星度，日月合璧，俱起建星。贾逵考历，亦云古历冬至皆起建星。两汉冬至日皆后天，故其宿度多在斗末。今以仪测，建星在斗十三四度间。自古冬至无差，审矣。"李淳风的意见与戴法兴类似，以为落下闳与贾逵所测冬至日皆在建星。建星在斗宿，故自古冬至无差。他又引《吕氏春秋·十二月纪》"黄帝以仲春乙卯日在奎始奏十二钟"的说法，今春分亦在奎，历三千余年冬至无差，可见无岁差之理。

李淳风在论及《尧典》四仲中星时说[①]：

> 若冬至昴中，则夏至、秋分星火、星虚，皆在未正之西；若以夏至火中、秋分虚中，则冬至昴在巳正之东。互有盈缩，不足以为岁差证。

李淳风与戴法兴和王孝通都不承认《尧典》四仲中星可以作为岁差的证据，但李淳风否定的意见与前二人不同。他指出四仲中星本身就有矛盾，不足以作为岁差的证据。

对此，一行回答说：尧时冬至若取为虚一度，即取虞喜、何承天二家之说的中点，则鸟火昴虚皆以仲月昏中，合于《尧典》。《吕氏春秋·十二月纪》所载星象，明显地出自春秋战国时代。李淳风在论证无岁差时所引的证据都属牵强附会，而对于证明有岁差的明显证据却有意避开或进行歪曲。所有这些事实，一行在《大衍历议·日度议》中曾做了详细批驳。自此以后，岁差才为我国古代天文学家所一致公认。



五、各家所定岁差值及精度分析

虞喜通过《尧典》中星和古六历、太初历、后汉四分历所用冬至日所在度的分析，发现了冬至点在恒星间西退的现象，主要依据《尧典》冬至"日短星昴"的记载，推得赤道岁差为50余年差1度。虽然比古希腊喜帕恰斯的发现晚了500年，却是中国学者独立发现的。开创之功不可埋没。何承天依据《尧典》仲春、仲夏、仲秋中星，推得岁差每百年差1度。虽未见精密，却指出了这一记录的矛盾。它促使人们认识到，要想求得精密的岁差值，尚需做出进一步的努力。祖冲之相信虞喜的推算结果，并依据汉以来所定冬至点的数值，认为"未盈百载，所差二度"。故在大明历中使用了45年11个月差1度的数值。祖冲之的结果虽然差一些，但将这一发现

① 以上所引李淳风的三段话均出自《大衍历议·日度议》。

引进了历法计算，却是一个很大的进步。梁大同九年虞劆也试求岁差，实测冬至日在斗十二度。他怀疑《尧典》所载四仲中星不准，“皆承闰后节前，月却使然”[①]，认为唐虞之际，日在斗牛间，故使用岁差每 186 年差 1 度[②]。这是一次倒退。南北朝的历法，除大明历外，大多不用岁差，至隋开皇历仍然如此，致使刘孝孙、刘焯等提出批评。

刘孝孙和张胄玄都承认《尧典》冬至“日短星昴”和太初元年日在牵牛初度是当时客观的观测记录，他们折中祖冲之和虞喜之值，取 83 年差一度。

《大衍历议》说：“皇极取二家中数为七十五年，益近之矣。”人们在论及岁差时，常举刘焯 75 年日差 1 度的说法，大约均出自一行所说。据《皇极历》，度法 46644，周差 609.5，实得岁差 76 年半差 1 度。《开元占经》所载之值为 65 年差 1 度，可能是刘焯早期所用的数值。因此，一行之说，仅是约略之辞。

戊寅历所用岁差较大，55 年 7 个月差 1 度，几乎与虞喜值相同。神龙历以 78 年差 1 度。历史上的岁差值有微小的变动，据现代理论推算，在南北朝隋唐时代，赤道岁差约 77 年 4 个月差 1 度。刘焯、南宫说所用岁差值都很精密。

由于王孝通、李淳风均反对岁差之说，促使一行去认真研究岁差。《日度议》是一行深入研究岁差的杰作，在中国岁差认识史上，具有划时代的意义。他对李淳风的错误议论进行了认真的批驳，在此基础上，对历史上每一条日度观测记录都做出了认真的考辨和分析。态度严肃，方法科学。他首先测得开元年间冬至日度在斗 10 度，同时肯定何承天和虞喜所测冬至日度在斗 14 度和斗 12 度是正确的。对于姜岌、贾逵和牵牛初度的观测记录，则需做出冬至时刻的改正。一行指出，姜岌利用景初历所定冬至时日，测得冬至日在斗 17 度。由于当时景初历后天三日，故姜岌所测大致与何承天相合。贾逵于永平十一年(68)冬至测得日在斗 21 度，据一行推算，当时历后天二日太半，则当时冬至实际日在斗 18 度。汉太初冬至日在牛初的数值，与古六历一致，因此不应看作太初年间实测。据秦用颛顼历，在始皇三十三年(前 214)历后天二日，冬至实际应在斗 22 度，当时所测日度有 2 度的误差，并不算太大。以此分析，一行定赤道岁差为三十九分太[③]，即 76 年 6 个月差 1 度，与实际密近。由此推得尧时冬至日在虚 1 度，得鸟、火、昴、虚皆合于尧时四仲月昏中(图 3－12)。

一行的论述具有很大的权威性，从此岁差之议遂定。现将重要历法所用岁差值列于表 3－3，以备参考。

---

① 《新唐书·历志三上》。

② 《隋书·律历志中》，唐志所引有误。

③ 见《新唐书·历志三上》，但历法中所用岁差又改用三十六太即 83 年差 1 度，较小一些。



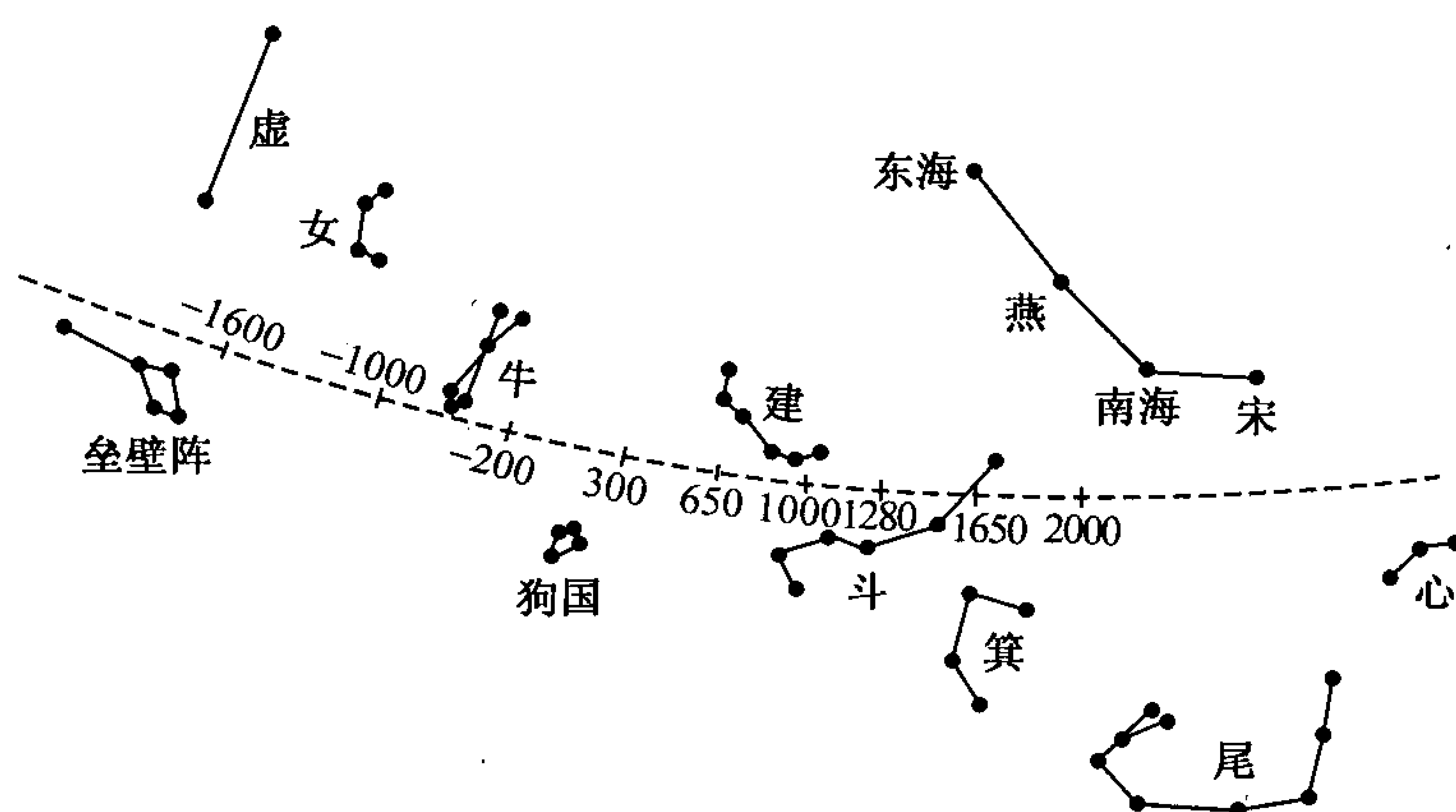


图 3－12　历代冬至点在黄道上的位置

表 3—3　重要历法所用的岁差值

作　者	历名	年代	赤道岁差值(日退度所需年)
虞　喜		340	50 年
何承天	元嘉	443	100 年
祖冲之	大明	463	45 年 11 个月
虞　劆	大同	544	183 年
张胄玄	大业	608	84 年 9 个月
刘　焯	皇极	600	76 年 6 个月
傅仁钧	戊寅	618	55 年 7 个月
南宫说	神龙	707	78 年
一　行	大衍	727	82 年 9 个月
郭献之	五纪	762	91 年 2 月
徐　昂	宣明	821	84 年 10 月
周　琮	明天	1064	77 年 7 月
杨忠辅	统天	1199	66 年 6 月
郭守敬	授时	1280	66 年 6 月

（撰稿人：陈久金）



第四节 姜岌

姜岌，后秦天水人，生活在公元4世纪，相当于东晋时代，比葛洪、虞喜略晚一些。生卒年代不详。

姜岌在我国天文学发展史上的贡献主要有：造《三纪甲子元历》，创造用月食测定太阳位置的方法以及发现了大气消光现象。

一、《三纪甲子元历》

在姜岌之前，人们使用东汉刘洪的乾象历、魏杨伟的景初历。姜岌在后秦姚兴时，约当晋孝武太元九年（384），造《三纪甲子元历》。三纪历中所载岁实是 $365\frac{605}{2451}$ 日（即365.2468日）。回归年长度是历法中一个极重要的基本数据，姜岌用过去历法推算日月食、朔望时刻，发现所推算时刻与实际天象有很大偏差，在《三纪历略》中他说："今诚以七家之历，以考古今交会，信无其验也，皆由斗分疏之所致也。"[①]认识到了斗分数值精确的重要性。东汉时用的四分历（公元85年造）以 $\frac{1}{4}$（0.2500）为斗分，比实际数字大很多（按现代理论计算，当时回归年长为365.2423日），乾象历以 $\frac{145}{589}$（0.2462）为斗分，开始缩小了所用斗分和实际数字的差距，但景初历却以 $\frac{455}{1843}$（0.2469）为斗分，把差距又扩大了万分之七。姜岌正确地认识到四分历的斗分太大，但他误认为乾象历的斗分太小了，结果采用了比景初历斗分略小的 $\frac{605}{2451}$（0.2468）作为三纪历的斗分，反而不如乾象历精密。但三纪历中所载的另一基本数据朔策，比乾象历精确，与景初历一样采用了29.53060这个数字（用现代理论计算，当时朔望月长为29.53058，乾象历是29.53054），比较精确。

三纪历的一个创造是用月食测定日躔所在（详见二）。姜岌用他发明的这个方法测得公元384年冬至日在斗十七度，精度比景初历大为提高。

据《三纪历略》说："五星约法，据出见以为正，不系于元本。"这是三纪历的又一个特点：行星位置以实际测量为根据，不从上元推算。可惜的是，姜岌实测的行星数据，未能流传下来。

---

① 《晋书·律历志》。



姜岌在《三纪历略》中还说："案歆历于春秋日蚀一朔，其余多在二日，因附《五行传》，著朓与侧匿之说云：春秋时诸侯多失其政，故月行恒迟。歆不以历失天，而为之差说。日之蚀朔，此乃天验也，而歆反以己历非此，冤天而负时历也。"他认识到天体运行有其自身的规律，对于人世的盛衰可以使天体运行随意变更的唯心论，做了适当的批评。

二、用月食测定太阳位置的方法

姜岌认为："治历之道，必审日月之行……"、"考其疏密，惟交会薄蚀可以验之。"[①]这反映了他重视天象的实际测量，以此作为制定历法的依据和检验历法优劣的标准。姜岌发明用月食冲检日宿度的方法，正是他崇尚实践的治学态度所取得的成果。

在姜岌以前，对太阳在恒星背景上位置的观测往往十分粗糙。问题在于日光非常强烈，加之地球大气的散射，使人们在白天不可能看到太阳附近的恒星，因此，直接观测太阳在恒星背景上位置的想法只得被放弃。由于测定太阳位置在实用天文方面，特别是历法的制定等工作中有极为重要的意义（古代中国历法以冬至点为基本点，太阳在冬至时刻的位置是一个十分重要的数据），人们不得不用间接的办法，分别观测太阳和恒星来推求太阳位置，例如观测昏旦夜半中星，就是常用的方法。姜岌之后的虞喜，在公元 543 年曾对用漏壶计时依昏旦夜半中星测太阳位置的误差做过估算："……然日之所在难知，验以中星，则漏刻不定。汉世课昏明中星，为法已浅。今候夜半中星，以求日冲，近于得密。而水有清浊，壶有增减，或积尘所拥，故漏有迟疾。臣等频夜候中星，而前后相差或至三度。大略冬至远不过斗十四度，近不出十度。"[②]可见昏旦夜半中星测太阳位置的主要误差是漏壶的计时误差，其数量在二至三度。



为了减少误差，提高太阳位置的测量精度，姜岌巧妙地免去了漏壶计时，直接测量天体之间的相对位置，即用月亮和某一恒星的角距离来推算太阳和这颗恒星的角距离。他发明的月食检日宿度方法的原理是：当月食发生的时候，日、月和地球处在同一直线上，太阳、月亮分别在地球的两侧，下式严格成立：

$$\alpha_{日} = \alpha_{月} \pm 180°$$

这里，$\alpha_{日}$、$\alpha_{月}$ 分别为太阳、月亮的赤经（或黄经）。日、月和赤经（黄经）起算点的位置在天球上排列次序（由西向东）若为日、月和起算点，则取减号；若为日、起算点和月，则取加号。

① 《晋书·律历志》。

② 《新唐书·历志三上》。

月光并不如日光那样强烈，可以直接测量月亮在恒星背景上的位置，再根据上式推算得到太阳和某一恒星的相对位置。测得某次月食时太阳的位置后，用月食时刻到冬至时刻的时间间隔，乘上太阳在黄道上的运动速度（太阳平均每天行1度），不难得到冬至太阳在黄道上的位置。何承天、祖冲之都用月食法测冬至太阳的位置，数值与姜岌所测有差别，差别的原因之一是冬至时刻定得准不准，一旦冬至时刻有误差，月食时刻到冬至时刻的时间间隔也就有了误差，必然影响到冬至太阳位置的数量。

如上所述，姜岌发明的用月食测定太阳位置的方法，在实际测量时，主要有月亮与恒星相对位置的测量误差影响到太阳位置的精度。过去日宿度测定中最大一项误差（时间的测量误差）就这样消除了，这就大大提高了太阳位置测定的精度。该法优点是测量精度高，计算简单。它的局限之处是，只有在月食发生时，才能用来测日宿度。宋朝姚舜辅用金星的出没推求冬至点。但姜岌发明的月食法测日宿度，因为精度很高，在历史上用了很长一段时间。元朝郭守敬制定著名的授时历，在推求冬至点时，还使用了月食法，可见姜岌这一发明对中国天文历法工作贡献之大。唐朝李淳风在撰写《晋书·律历志》时说："姜岌以月食检日宿度所在，为历术者宗焉。"这一评价是恰当的。

三、大气消光现象

近200年来，人们大多认为姜岌发现了蒙气差，其源出清朝阮元主编的《畴人传·姜岌》一文。阮元在文中首先引述《隋书·天文志》中姜岌对浑天论的想法：

> 余以为子阳言天阳下降，日下热，束晳言天体存于目，则日大，颇近之矣。浑天之体，圆周之径，详之于天度，验之于晷影，而纷然之说，由人目也。参伐初出，在旁则其间疏，在上则其间数。以浑检之，度则均也。旁之与上，理无有殊也。夫日者纯阳之精也，光明外曜，以眩人目，故人视日如小。及其初出，地有游气，以厌日光，不眩人目，即日赤而大也。无游气则色白，大不甚矣。地气不及天，故一日之中，晨夕日色赤，而中时日色白。地气上升，蒙蒙四合，与天连者，虽中时亦赤矣。日与火相类，火则体赤而炎黄，日赤宜矣。然日色赤者，犹火无炎也。光衰失常，则为异矣。



紧接着，阮元就做了自己的评论："西人言蒙气差，能升卑为高，映小为大，与岌所称正合。然则蒙气反光之差，不待第谷而后始明其理也……"从此，好些天文学史的著作中，把姜岌作为蒙气差的发现者来记载①。这是天文学史研究中的一个

① 陈遵妫：《中国古代天文学简史》，第110页；朱文鑫：《十七史天文诸志之研究》，第17页；胡宁生：《中国大百科全书·天文学卷·大气折射》。



失误。

中国科学院上海天文台薛道远考证认为：蒙气差的发现者是何承天，根据是张胄玄于公元597年，观测发现春分、秋分的太阳出、没方位角不在正东正西而是偏北，这里包含了蒙气差的影响。而何承天（370—447，比姜岌稍晚）的观测和张胄玄颇为一致，所以蒙气差首先由何承天观测到，而为隋朝的张胄玄的观测所证实①。在薛道远的文章中，首先提出姜岌发现的不是蒙气差，而是大气吸收、消光。现把详细理由在此做进一步的阐述，并分析一下阮元失误的原因。

把姜岌言论和阮元理解的"升卑为高，映小为大"的蒙气差概念对照，可看到很多论述与此无关，仅仅"参伐初出，在旁则其间疏，在上则其间数。以浑检之，度则均也。旁之与上，理无有殊也。"和"夫日者纯阳之精也，光明外曜，以眩人目，故人视日如小。及其初出，地有游气，以厌日光，不眩人目，即日赤而大也……"这两段似乎有些关系。那么"参伐初出……"这一段是否含有发现蒙气差的论据呢？按照现代理论，天体从宇宙空间发出的光线进入地球大气层到达观测者，途中经过不同介质，光线发生了折射，使天体看上去的高度比它的实际高度大（即阮元所说的"升卑为高"），这叫蒙气差，又称大气折射。大气折射的近似公式是$\rho=k\cdot\tan z$（式中ρ为大气折射值，k为系数，z为天顶距）。就某一个天体而言，大气折射使天体的光线向天顶方向移动了角距离ρ。至于两个高度不同的天体，由于大气折射对两个天体高度产生的影响不同，人们看到的两天体之间的角度将小于两天体的实际角度，这叫大气折射较差。大气折射较差使天体在天顶距方向上相互靠拢。由上述公式可知：z大的天体，向天顶方向移动的角距离大一些，z小的天体，向天顶方向移动的角距离小一些，综合的效果是使星星在天顶距方向上变得稠密一些。由公式可推导得：$\Delta\rho=k\cdot\sec^2 z\cdot\Delta z$。由此式可看到：$z$变小时，$\Delta\rho$随之变小；当$\Delta z$变小时，$\Delta\rho$也变小。故天顶距差$\Delta z$的两颗星处在地平附近时，大气折射较差$\Delta\rho$最大，当这两颗星到达中天时，由于$z$变小，大气折射较差$\Delta\rho$最小。因此，大气折射较差将使一个星座各星之间的角距离在地平时将显得比中天时小，也就是显得稠密一些，如果说是大气折射较差被某人观测到的话，同一星座应该呈现出在旁则其间数，在上则其间疏（图3—13）。但姜岌观察到的却是"参伐初出，在旁则其间疏，在上则其间数……"即猎户星座同样两颗星之间的角距离在地平初出时看起来大一些，在中天时看起来小一些。这一现象显然不是姜岌发现蒙气差或大气折射的证据。事实上，在姜岌以前很早有人注意到了这一现象，譬如汉朝关子阳说："星宿昏时出东方，其间甚疏，相离丈余。及夜半在上方，视之甚数，相离一二尺。"②关子阳根据同



① 薛道远：《大气吸收、消光和蒙气差现象在中国的发现》，载《科技史文集》第三集。

② 《隋书·天文志上》。

一物体近看则大、远视则小的道理推断天体（如太阳）在中天时一定离观测者远（“日之去人，上方远而四旁近”）。姜岌参加了太阳在日出时远还是中午时远的争论，很可能他想追究一下关子阳所说的现象真实性如何，从而进行了猎户座的肉眼观测和浑仪观测。姜岌用肉眼看到的是“在旁则其间疏，在上则其间数”，与关子阳所说一样，而浑仪观测的结果是：无论在中天还是在地平初出，两颗星的角度距离都一样（“以浑检之，度则均也”），浑仪观测也是在大气层底部进行的，也会受到大气折射的影响，如果说姜岌发现了大气折射或大气折射较差，那么他用浑仪观测两星距离的结果应该是地平初出时小，中天时大。但事实上他没有得到这样的结果。无疑，“参伐初出……”这一段里并不包含姜岌观测到蒙气差现象的任何论据。

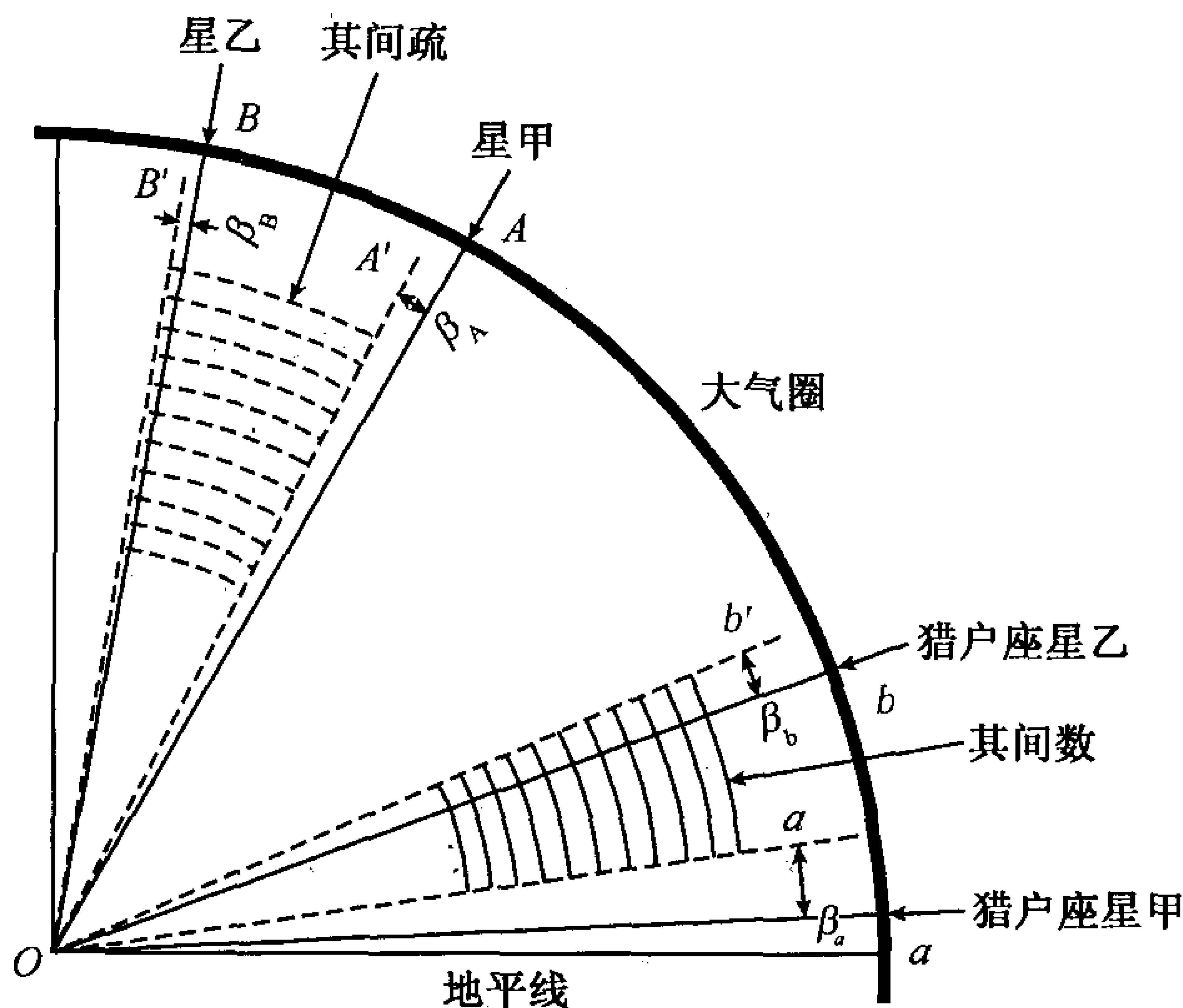


图 3—13　大气折射较差

那么“夫日者纯阳之精……”这一段是否与蒙气差现象有关呢？首先我们看姜岌说这段话的背景：在魏晋南北朝，进行着关于宇宙结构的争论。唐朝李淳风撰《隋书·天文志》述及“浑天说”时对此有所介绍，他说：“旧说浑天者，以日月星辰，不问春秋冬夏，昼夜晨昏，上下去地皆同，无远近。”接着介绍了历史上对这一观点的争论，譬如孔子遇两个小孩争论太阳在日出时远还是中午时远的著名故事，介绍了关子阳、张衡、束皙、姜岌等人的观点。关子阳看到星宿初出时比中天时看起来大，推断星在中天时远，认为太阳也是中午远于晨昏；张衡认为太阳初出时看起来比中午大不过是天空背景明暗造成的错觉；束皙进一步认识到太阳在初出时和中午时一样远近，理由是太阳并无大小，初出时看太阳大，不过是“人目之惑”。姜岌对前人的观点做了研究，提出了自己的看法，他说的“夫日者纯阳之精也，光明外曜，以眩人目，故人视日如



小”，有赞同张衡、束皙的意思。姜岌说“及其初出，地有游气，以厌日光，不眩人目，即日赤而大也”，这是他对太阳初出时看起来大所做的解释，这种解释和现代的蒙气差理论是否有关？按照大气折射较差理论，太阳、月亮等有圆面的天体，在横向（垂直于天顶距方向）上不会变形，但大气折射会使天体下边缘升高得比上边缘升高得更多（即下边缘靠拢上边缘），在纵向上的角距离会变小，使人们看到的日、月形状比真实的形状扁一些，从圆形变成椭圆形（图 3－14）。由公式 $\Delta\rho=k\cdot\sec^2 z\cdot\Delta z$ 知，天顶距 z 越大，大气折射较差越严重，日、月越扁，因此按照蒙气差理论，在日出时看到的太阳应该比中午时看到的更扁一些，更小一些。事实上，姜岌观测到的却是日出时，肉眼看到的太阳大，而不是日出时太阳小，显然，姜岌所说的“夫日者纯阳之精也……即日赤而大也”这一段与蒙气差并无关系。

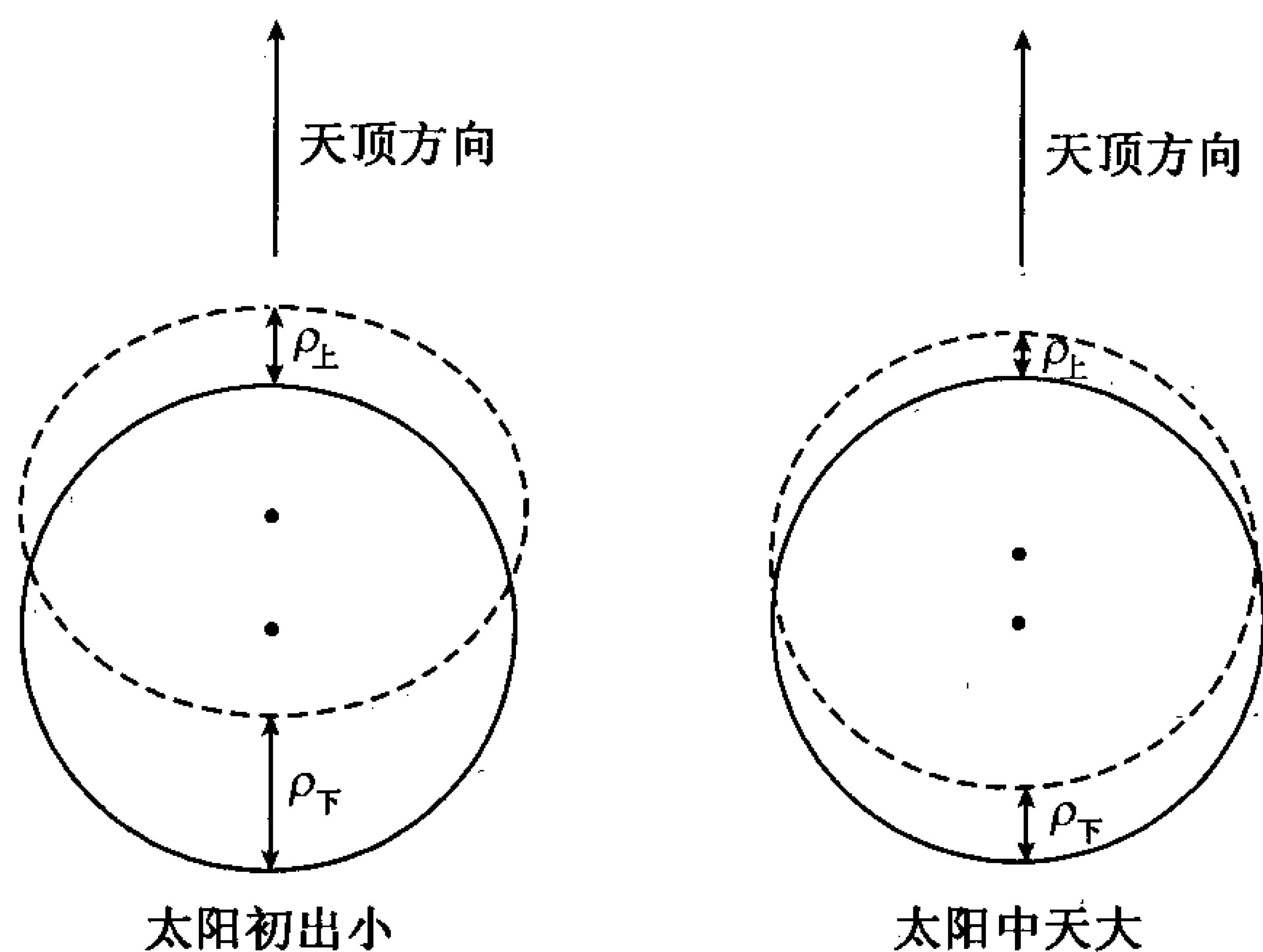


图 3－14　大气折射较差对太阳视位置的影响

实线为太阳真实形状，虚线为受大气折射后变形的太阳



天体在初出时和中天时离地球有没有远近之分？太阳在初出时和中天时有没有大小的区别？这些在古代论天者中间有争论。孔子路遇两个小孩争论，甲说太阳中午近，理由是中午热，乙却认为“日始出去人近，而日中时远也”，理由是“日初出，大如车盖，及其日中，裁如盘盖，此不为远者小，近者大乎？”汉朝关子阳支持孩乙的看法，论据是星宿初出其间甚疏。姜岌认为太阳大小、星宿疏数的“纷然之说”，产生于人眼的错觉，他用浑仪对星宿中各星角距离的测量结果为证据，提出“旁之与上，理无有殊也”的观点。对姜岌两段话的背景和确切含义的分析也告诉我们，他的浑天论中丝毫没有蒙气差的东西。

姜岌进一步探讨人眼看到初出的太阳大这一错觉原因，他认为是“游气”，这实际上是消光现象。按照现代的大气消光理论，大气的吸收和散射不仅使天体辐射

强度减弱，还会使天体的颜色发生变化。大气消光与天体的位置、辐射的波长都有关系，天体天顶距越大，消光作用越严重（同一颗星在地平附近的星等比它在天顶时暗三个星等），这是由于天顶距大的天体，其辐射穿过大气的路径长。就太阳初出和中午两个位置比较而言，对太阳光线的减弱，日出时比中午严重得多。这就是姜岌所说的"及其初出，地有游气，以厌日光，不眩人目，即日赤而大也"。大气消光使初出时日光较暗，不眩人目而造成了太阳大这一错觉。姜岌提出的日出时颜色"赤"，以及"地气不及天，故一日之中，晨夕日色赤，而中时日色白"这一段话，也反映了大气消光。按照现代理论，辐射波长愈短，消光作用愈强。例如空气分子散射量与辐射波长的 4 次方成反比，尘埃、水滴等的散射量大致与波长的 1.3 次方成反比。可见日光中波长最短的紫光，比波长最长的红光易于被空气分子、尘埃和水滴等散射。因此，对紫光的吸收在太阳初出时比中午严重得多（与红光比较而言），产生了地平的太阳呈红色，中午呈白色的现象。从光强和颜色的变化两个方面看，姜岌观测到的是大气消光现象，而不是蒙气差。

至此，显然的结论是：姜岌并没有发现蒙气差，那么阮元怎么会得出姜岌发现蒙气差这一错误判断呢？阮元对蒙气差概念的理解是："西人言蒙气差，能升卑为高，映小为大……"，"升卑为高"是指的天体地平高度由低变得高（蒙气差的影响），阮元在这方面并无错误。"映小为大"如果也是指的天体高度角，那么只是词义的堆砌重复而已，并无概念上的错误。可是阮元在详细引述了姜岌对人眼感觉晨昏时太阳大、中午时太阳小这一现象所做的探讨后，紧接着提到"映小为大，与岌所称正合"，可能，他讲的"映小为大"是指天体角直径的大小变化。我们在前面分析过，大气折射较差是会改变太阳圆面的形状、大小的，但不会使初出的太阳角直径看起来比中午大，而是相反。阮元如果真把姜岌所谈的初出太阳大、中午太阳小和"映小为大"联在一起，认为"所称正合"，那显然是对蒙气差概念理解上有错。阮元是在 1799 年完成《畴人传》的编写工作的，那是西方自然科学的近代知识进入中国的初期阶段，或者由于西方人士对蒙气差概念的阐述错误，或者发生了语言理解的偏差，使清代有关人士错误领会，使阮元对蒙气差这一西方概念的理解产生偏差，这是并不奇怪的。再加上阮元对姜岌关于浑天论的论述之背景、确切含义研究得不够仔细，以致做出了错误结论。



（撰稿人：厉国青）



第五节 何承天

一、生平简介

何承天(370—447),东海郯(今山东省郯城县)人。叔父何伦为晋右将军。承天5岁时丧父,叔父何伦为益阳令,由叔父抚养长大。母亲徐氏为晋秘书监徐广之姐,聪颖博学,故何承天从小就受到良好的家庭教育,诸子百家的学问无不精通。是南北朝时代著名史学家、数学家和天文学家。

何承天青年时代,正逢东晋末年,先后担任过南蛮校尉参军,长沙公辅国府参军等,也曾做过浏阳令、宛陵令、钱塘令等。刘宋元嘉年间(424—453),曾担任过衡阳内史、太子率更令领国子博士,又迁御史中丞。受命修撰国史[①],又撰《安边论》,具有一定影响,《宋书》评之为"博而笃"[②]。

何承天"性刚愎,不能曲意朝右,颇以所长侮同列。"因此做官也不顺利,数起数落,甚至"被收系狱"。

元嘉十六年为著作佐郎,随即转为太子率更令。自此以后才声望日甚,宋文帝也很看重他的才学。《何衡阳集》附载《本传》说:"承天博见古今,为一时所重","时(文)帝每有疑议,必先访之。"《本传》曾记载如下的一件事:宋文帝命张永开挖玄武湖,挖出一座古墓,在墓上发现一个有柄的铜斗。宋文帝想了解它的历史,便遍问朝臣。只有何承天才说出它的出处。原来王莽在三公死亡时,都曾赠以一对威斗,此即王莽之物。何承天又指出三公仅甄邯家在江南,因此便进一步判断即为甄邯之墓。随即又从墓中掘出铜斗一个,并有一块石碑,刻有"大司徒甄邯之墓"的铭文,从而证实了何承天的判断是完全正确的。从此大家都很佩服他的学识。



何承天素好下棋,因此常常影响公事。又爱弹筝。宋文帝曾赐给他一副围棋子和一面银装筝,以示抚慰。

后人将他的著作汇集起来,称之为《何衡阳集》[③],因其曾在衡阳做官,故取此书名。其最著名的科学著作《元嘉历》,完成于元嘉二十年,正是他担任太子率更令

---

① 何承天修国史的记载较少,《本传》也无记载,唯《隋书·天文志上》说:"宋御史中丞何承天及太中大夫徐爰各著《宋史》,咸以为梁华林重云殿前所置铜仪即张衡所造。"据此说,何承天在任御史中丞时曾写过《宋史》。何承天和徐爰的《宋史》,后都为梁沈约的《宋书》所代替。

② 《宋书·列传》。

③ 收入《汉魏六朝百三名家集》。

兼国子博士之时，载在《宋书·律历志》。元嘉历是当时最精密的历法，有许多创造发明，是我国古代的名历之一。被郭守敬列为创法十三家之一。阮元评论说："承天术胜于前者三事：欲用定朔，一也；考正冬至日度，二也；春秋分晷影无长短之差，三也。至其创立强弱二率，以调日法，由唐迄宋，演撰家皆墨守其说而不敢变易，可谓卓然名家者。"①

二、元嘉历的编制和颁行经过

刘宋初年，沿用曹魏杨伟造的景初历，自魏景初元年使用以来，已有200余年的历史。由于使用年久，加上此历本身存在的缺点，误差越来越显著。元嘉二十年，何承天向刘宋政府献出私造的新历法，经过检验以后，证实新历比旧历精密，于是取名为元嘉历，于元嘉二十二年开始颁行。一直行用到刘宋灭亡。齐国也一直沿用元嘉历。萧梁代齐以后，仍继续使用，至梁天监八年才改用祖冲之造的大明历，先后行用达65年之久。

何承天在给宋文帝的奏书中说：

> 自昔幼年，颇好历数。耽情注意，迄于白首。臣亡舅故秘书监徐广，素善其事，有既往《七曜历》。每记其得失，自太和至大元之末，四十许年。臣因比岁考校，至今又四十载。故其疏密差会皆可知也。

由此可知，元嘉历并非短期之作。舅父徐广就一辈子热爱历数，撰有《七曜历》，并且积自晋太和至太元近40年的比测资料。何承天从舅父那里学得历数的知识，从此也热心于历算工作。徐广亡故以后，《七曜历》及其校测资料便为何承天所继承。他继续观测校核，至元嘉二十年，又经40余年。这些丰富的观测记录，为何承天制定元嘉历打下了牢固的基础。因此，元嘉历的成就，也应有徐广的一份贡献。



何承天研究历算，一直把它当作一项个人的爱好。随着观测资料的积累和天文学知识的提高，不断改进他私撰的新历法。至元嘉二十年正式定型时，他已是一位白首老翁。何承天是思想比较解放，敢于革新的学者。东晋虞喜(281—356)首先提出岁差的新观念，他便首次在历法中做了讨论。在制定元嘉历的过程中，使用了利用月食来定太阳位置的新方法，这是不久前后秦姜岌首先在他编制的三纪甲子元历中提出来的。何承天曾做过刘裕的参军，可能参加了刘裕发起的灭后秦的战争，到过长安，有可能见到过姜岌三纪甲子元历(创制于384年)。因此，在元嘉历中引进岁差和观测太阳位置的新方法，可能受到虞喜和姜岌的影响。这些天文

① 《畴人传·何承天》。



学上的新成就，都为元嘉历的制定提供了很好的科学基础。

宋文帝元嘉年间，长江流域出现了东晋以来未曾有过的繁荣气象，经济和文化都得到了飞速的发展，正是这个时候，改订历法的时机成熟了。在何承天担任太子率更令兼国子博士时，正逢宋文帝也爱好历算，历法改革终于在这样的环境下得以完成。

何承天在元嘉二十年完成他的历法以后，便进呈给宋朝政府。他的历法很得宋文帝的赞赏，认为"殊有理据"，并交历官检验。

当时的太史令钱乐之、兼丞严粲经过检验后复旨说：据元嘉十一年、十三年、十四年、十五年、十七年的观测记录，"凡此五食，以月冲一百八十二度半考之，冬至之日，并不在斗二十一度少，并在斗十七度半间，悉如承天所上。"又以元嘉十一年以来10年所测冬至影长，"寻校前后，以影极长为冬至，并差三日。以月食检日所在，已差四度。土圭测影，冬至又差三日。今之冬至，乃在斗十四间。又如承天所上。"

对于冬至点的位置和冬至日期所做检验的结果，都证实了何承天所推基本上是正确的。于是确立了元嘉历的优势。

然而，元嘉历首先提出使用定朔来定大小月，这原本是进步的主张，但钱乐之和严粲的思想都较为守旧，主张仍用旧法。员外散骑郎皮延宗也反对这一改革。何承天革新思想得不到支持，只能做出妥协，仍用平朔。

三、元嘉历的主要成就

元嘉历的改革和成就，主要有以下六个方面。

1.利用月食测定冬至日度

如前所述，以月食检验冬至日所在的方法，首先是由姜岌发明的(384)，10余年后，就为何承天所应用。姜岌的三纪甲子元历只是简单地说："以月验之"，景初历"日之所在乃差四度。""今始新历……日在斗十七度。"由此人们才懂得除以昏旦中星定日所在以外，还有更精密的方法。何承天早在元嘉十一年就曾向刘宋政府上书指出，以月食验日所在，已差四度；以土圭测影，冬至已差三日，需改订新历。钱乐之等奏书中也提到"以元嘉十一年被敕，使考月食"等情况。刘宋政府交付测验，证实确如所言。何承天也积极宣传此法的意义，他于元嘉二十年上表说："汉代杂候清台，以昏明中星课日所在。虽不可见，月盈则食，必当其冲，以月推日，则躔次可知焉。舍易而不为，役心于难事，此臣所不解也。……臣以月食检之，则景初今之冬至应在斗十七。"指出以月验日的方法比中星法既简便又精密。经过何承天的宣传和推广以后，便成为中国古代历法家普遍使用的方法。



2. 实测中星以定岁差

晋虞喜第一次提出"岁自为岁、天自为天"①、"每岁渐差"②的观点，这是赤道岁差的概念，是中国天文学史上一项极其重要的发现。何承天是首先拥护和肯定岁差之说的，并且首先在历法之中做了讨论。他将元嘉历的冬至点从以前历法中固定不变的位置移至斗17度，正是出于这一认识。不过，在元嘉历中，并未使用岁差来推算逐年冬至点的位置。他认为，"复改法易章，则用算滋繁，宜当随时迁革，以取其合。"③他主张历法要力求推算简便，与天象有差以后，可以随时改革。出于相同的考虑，他明知19年7闰的闰周不够精密，但由于简便，就仍然使用了。这是元嘉历的一个缺点。

虞喜所用的岁差值为50年差1度，何承天则是每百年差1度。他们是如何推得的呢？虞喜说："尧时冬至日短星昴，今二千七百余年，乃东壁中④。则知每岁渐差之所至。"⑤即虞喜认为，尧时冬至点在东壁中，今在斗十七度。其间各宿的距度为：斗二十六、牛八、女十二、虚十、危十七、室十六、壁九、奎十六、娄十二、胃十四、昴十一。昴中至壁中相距约52度，二千七百余年，约合50年差1度。

何承天则认为："《尧典》云'日永星火，以正仲夏'。今季夏则火中。又'宵中星虚，以殷仲秋'。今季秋则虚中⑥。尔来二千七百余年，以中星检之，所差二十七八度。则尧令冬至，日在须女十度左右也。"⑦女10度至斗17度相距27度，经2700余年，故得每百年差1度。

由于《尧典》四仲中星未必是尧时的天象，尧时的年代也未必准确，故所推较为粗略。但在历法中第一次讨论岁差，其意义是巨大的。

3. 创立调日法

根据周琮《明天历》的记载⑧，调日法是何承天创立的，但在宋以前，几乎没有任何文献谈到过调日法。据我们研究，调日法确实是由何承天创立的，理由有三：①元嘉历的日法为752，是除掉三统历以外最简单的数值⑨，符合刚开始使用调日法调制日法的状况；②元嘉历用以调制日法的强数为15，弱数为1，是所有历法中



① 《新唐书·历志三上》。
② 《宋史·律历志七》。
③ 《宋书·律历志中》。
④ 景初历冬至昏中星为奎6度，元嘉历为壁8度，大致相合。
⑤ 《宋史·律历志七》。
⑥ 元嘉历季夏大暑昏中星在尾八，季秋霜降昏中星在女十一，大致相合。
⑦ 《宋书·律历志中》。
⑧ 《宋史·律历志七》。
⑨ 汪曰桢《历代长术辑要·古今推步诸术考》所收日法最详。



强弱数最小的[1]，与调日法刚创立时的状况相适应；③元嘉以前历法的日法都是"率意加减"，以造日法，"苟合时用"[2]。

事实上，元嘉以前历法的日法，显然不是利用调日法调制出来的：四分历的日法 940，是由斗分$\frac{1}{4}$与 19 年 7 闰法导出的；三统历日法 81 借助于黄钟九九自乘；魏晋乾象、景初等诸历，都是测知四分斗分太大。"皆斟酌乾象所减斗分、朔余、月行阴阳迟疾，以求折衷"，都是仿乾象法，先定斗分，然后借助于 19 年 7 闰法导出日法的。

举例说，《晋书·律历志下》载："刘智以斗历改宪，推四分法三百年而减一日，以百五十为度法，三十七为斗分。"四分历斗分为$\frac{1}{4}$，以 300 年减 1 日，便得：

$$斗分=\left(\frac{1}{4}\times 300-1\right)\div 300=\frac{37}{150}$$

用 19 年 7 闰，19 个回归年中有 235 个月，可求得朔望月的日数：

$$365\frac{37}{150}\times 19\div 235=29\frac{18703}{35250}$$

此 35250 就是《开元占经》所载刘智正历的日法。由此可以推知魏晋历法的日法是如何得来的。

日法如何调制呢？何承天是假助于不等式原理

$$\frac{a}{b}>\frac{am+cn}{bm+dn}>\frac{c}{d}$$

来达到调制日法的。$\frac{a}{b}$称为强率，$\frac{c}{d}$称为弱率，m、n 为正整数，称为强弱数，只需选择适当的 m、n，利用此式便可求得与实测相当的日法和朔余。



朔余的 1 亿倍除以日法，其整数商称之为约余，实测值可用约余表示。利用实测约余求日法朔余的方法是：将强弱率的分子分母分别相加，求其约余，与实测约余相比较，若约余多于测定数，则弃去强率，以强弱率相加所得之率再与弱率母子相加；若约余少于测定值，则弃去弱率，以强弱率相加所得之率与强率母子相加；然后再求约余，与测定值比较，再求新率；直至约余与测定值相符为止。于是便求得日法和朔余。

何承天取$\frac{26}{49}$为强率，$\frac{9}{17}$为弱率。以后历法家都一直沿用此数，很少变动。强率

---

① 各历强弱数请见李锐《李氏算法遗书·日法朔余强弱考》和顾观光《武陵山人遗书·日法朔余强弱考补》。

② 《宋史·律历志七》"调日法"。

表示约余数大于正常值，弱率表示约余数小于正常值。古时用平朔，大小月相间，曾经用过每 19 个月设一个连大月，这便是$\frac{9}{17}$的来历，使用久了之后历法必然先天；三统历 81 个月中设 43 个大月，久后发现历法后天。因此，人们便认识到$\frac{9}{17}$太弱，$\frac{43}{81}$太强。将此两数经一次调制之后，便得$\frac{26}{49}$，仍然太强。于是何承天便以$\frac{26}{49}$和$\frac{9}{17}$作为强弱率。取$\frac{26}{49}$而不取$\frac{43}{81}$作为强率，其原因是$\frac{26}{49}$更接近真值，其数也较简单，调制起来较为方便。

调日法仅仅是一种数学方法，是一种手段，其目的在于求出准确的日法和朔余，因此与所选取的强弱率值无关。事实上，若以$\frac{43}{81}$和$\frac{9}{17}$作为强弱率，或以$\frac{6}{11}$和$\frac{9}{17}$作为强弱率，所求出的日法、朔余则完全相同。[①]

4．以雨水为气首、五星皆以近距为历元

中国古代的历法，大多以寅月为正月，元嘉历相同。中国古代历法家却大多习惯于以冬至为历元，岁首与历元不在同日。这当然是不理想的，同时也不大方便。何承天认为，历法既以寅月为岁首，就该以正月所在中气为历元和气首，推算太阳的运动不是从冬至点开始，而是从雨水开始。由于冬至日在斗宿，雨水日在室宿，所以元嘉历不称岁余为斗分而是称为室分。

历元和岁首划一，这原本是一种很好的设想。但由于当时尚不知日行有盈缩，推算节气仍用平气；当时的科学水平尚不能实测雨水时太阳的位置，仍然只能由冬至推得。这就减少了改以雨水为历元的实际价值。故后世历法家仍然以冬至为历元。



从三统历开始，中国古代的历法家都追求推算上元积年，要求日月合璧、五星联珠。上元不仅是回归年、朔望月、干支年和干支日的整数倍数，同时要求是近点月、交点月和五星会合周期的倍数。在魏晋时代，各历法家所推上元积年的数值就达数万以上，随着观测精度的提高，积年数还将不断增加。为了避免或减轻这些繁复运算，某些有创新精神的历法家就做出改革，杨伟就设交会差率和迟疾差率，将交点月、近点月排除在外。何承天更将五星运动都排除在外，各设近距历元。这些措施都是先进的，可惜未被后世历法家所采纳。使用近距历元，不仅简化了计算，而且保持了各基本天文数据原有的实测精度，避免了为推算上元时对天文数据做出人为的修改。

---

① 调日法的最新研究请见《调日法研究》，《自然科学史研究》，1984 年第 3 期。



元嘉历五星会合周期大都精密于前历，与今测值密近。采用实测之数推算，是其主要的原因之一，朱文鑫说："岁周、月周数有奇零，已难划一，至五星会合之期，更难齐同。而古历往往增减实测之数，以牵合虚立之元。但求其数之巧合，而不计其法之无当。此古历之所以未能密合者，皆误在上元也。……今元嘉历推五星，不拘于同出一元，而所测自密，是其明证也。"①

5. 创用定朔算法

刘洪乾象历认识到"月行迟疾，周进有恒"。立损益率和盈缩积表，以求月亮的实际行度。又创月行三道术，推算月亮出入黄道内外的度数。从此开始，历法取得了巨大的进步。但推历日定大小余仍用平朔。魏晋历法也是如此。何承天上历表说："月有迟疾，合朔月食，不在朔望，亦非历意也。故元嘉皆以盈缩定其小余，以正朔望之日。"他认为，月行有盈缩，仍用平朔定大小余甚不合理。于是便创定朔算法，以月行盈缩定大小余。这也是中国历法史上一大进步。

但是，刘宋政府把元嘉历交天文官测验，太史令钱乐之、兼丞严粲在给皇帝的奏书里，一面肯定何承天以月食定日度、以圭表定冬至的方法是准确的，但另一面却认为"每月朔望及弦，皆定大小余，于推交食时刻虽审，皆用盈缩，则月有频三大频二小，比旧法殊为异。……愚谓此一条自宜仍旧。"定朔算法更受到员外散骑郎皮延宗的反对，认为这样一来，"故岁之晦，为新纪之首"了，不合旧法②。于是，元嘉历仍改用平朔。定朔算法虽然到唐代才能实行，但何承天创始之功是不能埋没的。

6. 定春秋分晷影无长短之差

元嘉以前，仅后汉四分历和魏景初历载有各节气晷影长度。景初历的数值与后汉四分历全同，故知它沿袭后汉四分历。后汉四分历在制定时，节气就落后大约1天。二历所载各节气影长，是熹平三年所测。其各节气晷影长度，大约均是实测的结果。按理说，春秋分或立春立冬等相对应的节气，其影长是应该大致相等的③，即使日行有盈缩，当时太阳近地点不在冬至，但其影响仍然是次要的。因此，相对应节气的影响相差达数寸以上，这是很不合理的。这只能说明，历面所定节气，比真实节气有几天的误差。何承天在其所上的历表中指出："案《后汉志》，春分日长，秋分日短，因识春分近夏至，故长；秋分近冬至，故短也。杨伟不悟，即用之。"从实测各个节气的晷影数值，即能大致判断出景初历冬至后天的日数。因此，何承天纠正了后汉四分历和景初历的错误，从对应节气的影长应大致相等的基本概念



① 《历法通志·元嘉历》。

② 以上均见《宋书·律历志中》。

③ 由于春秋分的时刻并不相等，严格说来影长也不等，但相差甚微。具体请参见本书"祖冲之"一节。

出发，重新实测了二十四节气晷影的数值。后世诸历实测二十四节气晷影，都大致不出这个范围。

四、其他天文工作

1. 综合浑天学说

关于何承天的浑天学说，载在《宋书·天文志》，《隋书·天文志》则记载得更为详细。他的这些观点，在《何衡阳集》中辑成单篇，取名为《论王蕃浑天体》。此标题不大确切。何承天浑天说的主要观点是天形正圆，水居其半，地中高外卑，水周其下。日为阳精，光曜炎炽，一夜入水，所经焦竭。百川归注，足以相补。天常西转，一日一夜，过周1度。周天三百六十五度三百四分之七十五，黄道斜交赤道，春分交于奎七度，秋分交于轸十五度，冬至斗14度半强，夏至井16度半。从北极往南55度，即最高处天顶，其下则为地中。天经之说，与王蕃同。

何承天显然不主张陆绩卵形浑天的观点，而是认为天形正圆，做昼夜旋转。夜晚太阳则落入水中，第二天再从水中升起。很明显，何承天浑天说主要是以张衡浑天思想为基础，适当吸收王蕃、葛洪的观点，配以自己所测定的周天长度和春秋分的位置而成。虽说地中高外卑，但在理论上，与天相比，仍然是一块平面。北极出地都为36度。阳城为天地的中心，只有阳城这个地方，不管是春夏秋冬、昏明昼夜，太阳去阳城的距离都是相等的。这显然是东汉至南北朝时关于天地结构的典型观点。[①] 何承天实际并未做出积极的发展。

虽然如此，推翻地平说的第一个证据却是何承天修订元嘉历时做出的。按照盖天说的观点，中午表影千里差一寸，夏至阳城日影一尺五寸，其南一万五千里，日中无影。但元嘉十九年派到交州测影所得的记录却是夏至表影出南三寸二分。路当万里，而影实差一尺八寸二分，平均六百里差一寸[②]。于是用实测首次推翻了千里差一寸的错误观点。这次实测为今后新浑天观点的建立提供了依据。



2. 改革漏刻制度

何承天改革漏刻制度的活动，载在他所上表文中[③]，在《隋书·天文志上》“漏刻”条也有记载。依据后汉四分历和景初历，春分与秋分日出入时刻不等，春分昼长，秋分昼短，差至半刻以上，这在天文学上来说是不合理的。元嘉历已据实测对节气做了改正，则对漏刻计时中的错误，自然也应做出改正，使相应节气的日出入时刻相等。因此，元嘉历定春秋分昼长都为55刻。

① 参见《浑天说的发展历史新探》，《科技史文集》(一)，1977年。

② 《隋书·天文志上》“晷影”。

③ 《宋书·律历志》。

南北朝以前，十二时辰与漏刻两种时制各自独立使用，不能配合。漏刻也只能以昏旦为界，将昼夜分开计量。夏至比冬至昼长长20刻。东汉初年以前，在漏刻中一年用41箭，每9日差1刻，换一次箭；东汉和帝永元十四年，霍融改用48箭，以日行黄道去极每差2度4分增减一箭；至何承天按节气计，一年改用25箭，此法一直用至隋代才做出改革[①]。

何承天在对漏刻进行测定和研究时，曾有两项发现：春秋分日出入并不正好在卯酉方向（正东西），而是都偏向北方，其出入时刻也并不正好在卯正和酉正，而是在"卯三刻五十五分"和"酉四刻二十五分"。[②] 卯正和酉正均在4刻10分，日出提前15分，日落推迟15分。这是蒙气差造成的，何承天的这项发现，为人们进一步从事天象研究提供了很有价值的资料。

（撰稿人：陈久金）

第六节　祖冲之

一、生平简介

祖冲之(429—500)，字文远，祖籍范阳蓟县[③]（今北京西南部）。其子祖暅在天监三年(504)因改历事向梁武帝萧衍上书说："臣先在晋已来，世居此职。"[④]据此看来，祖冲之的先人在晋宋二朝世为历官，对天文历算都有研究。祖冲之从小喜爱天文历算，仅是继承祖业而已。

祖冲之的曾祖父祖台之，在东晋时任光禄大夫，以著小说《志怪》出名。祖父祖昌，为刘宋朝廷的大匠卿，是负责营造的官员。父亲祖朔之在刘宋任奉朝请，也具有一定的地位和声望。祖冲之生活在这个世代研究学问的家庭里，从小就受到熏陶。


图 3—15　祖冲之像

祖冲之从青年时代起，就立下了专攻历术的志

① 《宋书·律历志下》。

② 《隋书·天文志上》"漏刻"。

③ 因祖冲之孙祖皓是范阳遒人(《南史·文学传》)，近人都认为祖冲之是范阳遒人。不过尚无直接证据，现仍从《南齐书·文学传》。

④ 《隋书·律历志中》。

向。他说："臣少锐愚尚，专攻数术。搜练古今，博采沈奥。唐篇夏典，莫不揆量，周正汉朔，咸加该验。罄策筹之思，究疏密之辨。"[①]他研究自古以来的历法文献，以充实自己的学问，但从不迷信古人，相信今能胜古。他收集了所有的古代观测记录，用以作为"日月离会之征，星度疏密之验。"校订历法，参考古代文献，仅仅是研究工作的一个方面，他把更大的注意力集中于天象的实际观测。晋代杜预有句名言说："当顺天以求合，非为合以验天。"[②]这是千古步算之要领。祖冲之在《上历表文》中自我介绍说，他曾"亲量圭尺，躬察仪漏，目尽毫厘，必穷筹策。"[③]只有这样，才能判别古历的是非，使自己编订的历法上通于古，下验于今。

除掉天文历算以外，祖冲之在数学方面也有很坚实的基础。先进的数学知识用于历法，促使他做出许多重大革新。由于学术上的声望，大约在 30 岁以前，他便被推荐进入皇家的研究机构华林学省，从事研究工作。他利用那里良好的科研条件，认真从事天文观测，进行深入的研究和探索，终于完成了他的杰作大明历。大明历有许多发明创造，是南北朝时最为精密的一部历法。时在大明六年(462)，年仅 33 岁。

祖冲之将大明历呈献给刘宋政府，并写了一篇《上历表文》，要求予以颁行。刘宋朝廷交付群臣评议，因孝武帝宠臣戴法兴的反对而受阻。祖冲之随即写了《辩折》来回答他。《大明历》《历表》《辩折》连同戴法兴的错误批评意见，后来一齐都被引载在《宋书・律历志》，成为中国古代天文历法发展史上难得的科学名篇。戴法兴既立异议，众人都随声附和。仅中书舍人巢尚之肯定大明历，执据宜用。孝武帝已决定于大明九年(465)改用新法，但未及颁行他即去世，改历之议也就作罢。

宋孝武帝死后，刘宋政府日趋腐败，不久也就灭亡了。代之而起的是齐朝，统治者热衷于宣扬佛教，在祖冲之有生之年再也没有遇到改历的机会。祖冲之去世以后，梁朝也就很快地取代了齐朝。祖冲之的儿子祖暅从梁天监三年至八年间，曾三次向朝廷建议改用大明历，终于在天监九年(510)得以颁行。这已经是祖冲之去世以后 10 年的事了。



刘宋大明五年(461)，祖冲之被任命为南徐州从事史，开始了他的仕途生涯。后又任司徒公府参军、娄县令、谒者仆射等官。在齐朝官至长水校尉。于齐永元二年(500)去世，享年 72 岁。

祖冲之是我国南北朝时代杰出的科学家。除创作大明历外，在数学上也有卓越的贡献，他曾在刘徽圆周率研究的基础上，求出了精确到第七位有效数字的圆周

① 《宋书・律历志下》中《辩折》，通称《驳议》。

② 《晋书・律历志下》。

③ 《南齐书・文学传》"祖冲之"。《宋书・律历志》所载《上历表文》删去了这段话。



率：3.1415926<π<3.1415927。比欧洲第一次求出这个数值要早一千年。祖冲之在数学上的另一贡献是第一次圆满地解决了球体积的计算问题，它在世界上被称之为"祖氏公理"。其数学著作《缀术》，在唐代国子监被列为最重要的高等算学课本。可惜后来已经失传，莫知其内容。祖冲之还善于制造各种巧妙的机械，他曾设计制造过水碓磨，铜制机械转动的指南车，一天能行百里的"千里船"等。

祖冲之的著述甚丰，除掉《大明历》《缀术》这两个名篇外。还有《九章术义》《易老庄义注》《论语孝经注》；政治著作有《安边论》；小说著作有《述异记》十卷。大都散失。《隋书·经籍志》载有《长水校尉祖冲之集》五十一卷，也已失传。

二、祖冲之对大明历的自我评价及与戴法兴的争论

祖冲之在《上历表文》中对大明历的主要成就概括为："改易之意有二，设法之情有三。"改易之一为：将旧有的 19 年 7 闰法改为 391 年有 144 闰；改易之二为在历法计算中引进岁差。所谓设法者有三，实际可以归结为设立统一的上元。祖冲之认为，日辰的排列，以甲子为先，所以历元也应设在此岁；不但气朔，而且日月五星、交会迟疾都位于初始状态；又因为引进岁差，冬至日度岁岁有异，子为辰首，位在北方，而虚为北方之宿，故历元时日度也应取为虚宿。这就是说，祖冲之所寻找的上元，要求在甲子年冬至甲子夜半合朔，太阳位于虚宿，五星都位于虚宿附近，月亮正逢近地点，位于黄白道相交之处。寻找这个理想的上元，就要借助于数学上的同余式组来求解。

祖冲之追求科学的进步，将最新的科学知识应用于历法改革，这种精神是值得赞扬的。他在大明历中所做的改闰周和引进岁差两项革新，为人们所一致肯定。正因为由此革新，才使大明历得以进入郭守敬所总结的创法十三家之列。



设立七曜与交会迟疾同元，这是祖冲之的首创，也是祖冲之自己很得意的一项工作，所以他总结为设法有三。求解如此复杂的同余式组需付出巨大的劳动，也为以后具体的历法推算工作带来很多麻烦。为了追求理想的历元，就不得不降低某些天文数据的精度来迁就，而所得结果在科学上的意义却不大。祖冲之的这种盲目追求形式主义的思想对后世影响很深，直到元初才被彻底革除。

戴法兴粗通经史，他师法两汉经学家，只把注意力放在解经训诂上。为了解经，他也粗通历算。以训诂为目的去学习历法，这就决定了他在天文学发展道路上所持的错误立场。古制不可移，这是他的基本信条。他也引经据典，但不是为了改进历法，去顺天求合，而是为了维护古制。祖冲之所做的改闰法、定岁差二项改易，被他斥之为削闰坏章、空撤天路。这自然是站在反对科学进步的立场上。在此之前，赵歐即已改闰法；何承天也知改闰法和用岁差的精密，但"改法易章，则用算滋

繁，宜当随时迁革，以取其合。”[1]何承天和祖冲之都认识到有岁差和用 19 年 7 闰法不精，但二家主张不同。何主张推算简便，历法可随时迁革；而祖冲之则主张立法精密，“将来久用，无烦屡改。”故这两项改革，都留待祖冲之来完成。

由于祖冲之设立上元没有多大科学价值，故戴法兴对于这个问题的批评意见，就很难用简单的是非标准来衡量，而应该进行具体分析。尽管戴法兴对于祖冲之设立上元冬至日在虚宿的批评意见是错误的，但其他批评虚立上元等的意见却有道理。戴法兴说：“置元设纪，各有所尚，或据文于图谶，或取效于当时。……冲之苟存甲子，可谓为合以求天也。”“景初所以纪首置差，元嘉兼又各设后元者，其并省功于实用，不虚推以为烦也。”[2]“并省功于实用，不虚推以为烦”，这点批评意见是中肯的。

祖冲之创立交点月的推算方法，用于预报交食更为省约，戴法兴不明此理，与近点月搅在一起，是毫无道理的。

因此，祖冲之所说大明历改易者二，设法有三，其两条改易的意义确实是重大的，而三点设法却没有科学价值。其实，大明历的科学成就，除掉以上所说用岁差、改闰周、创交点月算法外，还创立了冬至时刻的算法。这些成就，对于后代历法都产生过巨大的影响。

三、引进岁差

在虞喜发现岁差以后，何承天曾经讨论过岁差在历法计算中的影响，但终因怕麻烦弃而不用。祖冲之在历法计算中引进岁差，是对中国历法史上的一大贡献。在历法计算中，太阳方位的计算是最为基本的数据。太阳位置的准确与否，直接关系到日月交会时刻和五星的出没方位等一系列问题。中国上古之所以交食预报不准，五星动态预报不精，其中的一个重要原因就是太阳方位预报不精所致。要准确地预报太阳方位，就必须要解决精密地测定历元时太阳的方位，掌握太阳不均匀运动的计算方法，做出岁差改正这三件事。测定太阳的方位，自从前不久姜岌发明利用交食的机会，精密地测定太阳方位的方法以来，已取得了长足的进步。在祖冲之时代，尚未认识到太阳有不均匀运动，现在祖冲之引进岁差的计算，也就解决了太阳运动方位计算中的一个重要问题，其创始之功是不可埋没的。



由于古人无法直接观测太阳在恒星间的方位，所以在南北朝以前关于太阳方位的记录既少又不准确。利用这些记录来证明岁差的存在和推断出岁差的数值，往往会引起人们的怀疑和导致用数不精。这就决定了有关岁差的争议还需经过漫长的岁月。虞喜以《尧典》冬至昏中星在昴宿，取其约数，得岁差每 50 年日退行 1

① 《宋书·律历志中》“历表”。

② 《宋书·律历志下》“法兴议”。



度。何承天用《尧典》夏至昏中在火和秋分昏中在虚，得每百年差1度。祖冲之再加详考，仍以《尧典》冬至昏中在昴为基点，又以秦历冬至日在牵牛6度，太初日在牛初，四分日在斗21度，晋姜岌测得日在斗17度，再加上他自己所测斗17度，推得"未盈百载，所差二度"，实取45年9个月冬至点西移1度。

《尧典》四仲中星互相矛盾的事实，给用这些记录推算岁差带来困难，这实在是中国天象记录中的一件憾事。它也为不承认有岁差的人提供了借口。中国最早的冬至日所在度的记录是牵牛初度，大约出于先秦，但更具体的年代则无史可考。祖冲之不明古度与今度的区别，故误将秦历历元立春日在营室5度的记录推为冬至日在牵牛6度(实际仍在牵牛初度)。从祖冲之那个时代的观测记录来看，他所得的冬至在斗11度的记录也不精密。因此，祖冲之可以用来推导岁差的准确记录很少，所以求出的岁差值偏大。

戴法兴根本不相信有岁差，他说："日有恒度，而宿无改位。古历冬至，皆在建星。……后杂觇知在南斗二十一度，元和所用，即与古历相符也。逮至景初，而终无毫忒。书云：'日短星昴，以正仲冬'，直以月维四仲，则中宿常在卫阳。"即认为冬至自古就在建星，而建星即在斗21度[①]。所谓四仲中星，实即是说月有四仲的变化，而太阳则常在黄道，并不是指四仲月的昏中星。戴法兴曲解《尧解》四中星的涵义，似乎一时很难辨明。但其时冬至日度已在斗12度左右，只需做出冬至日度的具体测定，戴法兴的附会强辩将不攻自破。

四、改革闰周

原始的历法，设置闰月全凭实测，随着经验的积累，才发现有一定的规律。人们发现，3年1闰太弱，5年2闰太强，8年3闰太弱，11年4闰太强，直到19年7闰才是较好的闰周。这就是著名的19年7闰法，它在中国行用大约达八九百年之久。



人们发现，如果将19年中朔望月的总日数取为与19个回归年的总日数相等，计算起来就比较方便，将回归年取为$365\frac{1}{4}$日，朔望月取为$29\frac{499}{940}$日，这就是四分历。后来刘洪发现四分历的回归年值太大，便在保留19年7闰法不变的条件下减少斗分，同时朔望月的值也得到了改进。以后的杨伟、何承天等天文学家继续沿着这个方向进行探索。但朔望月、回归年和闰周三者互相制约，朔望月、回归年是观测值，而闰周则是人为规定的，在达到一定的精度以后，人们想要进一步改进回归年值时，为了

---

① 早在东汉贾逵时，就曾将冬至在牵牛初度的观测记录误解为以古度为标准，由于古度斗宿仅22度，故贾逵认为先秦冬至日在牵牛初度的观测记录与东汉时冬至日在斗21度都在同一位置。戴法兴这里借用了贾逵的观点。

保持19年7闰不变，就不得不减低朔望月的精度，反之亦然。不打破传统的闰周，就会束缚天文学的发展，它终于促使赵歅做出改革闰周的尝试(412年)。

赵歅设600年221闰，取回归年为365.2443日，朔望月为29.53060日，改进的步子还不算大。祖冲之在赵歅的启发下，设391年144闰，取回归年为365.2428日，朔望月为29.53059日，比以前诸历取得了长足的进步。其回归年的精度，直到南宋的统天历才超过它。

古代的闰周是如何取得的呢？是用调日法调制出来的。举例说，3年1闰太弱，5年2闰太强，将两数的分子分母分别相加，便得8年3闰。8年3闰还弱，以8年3闰与5年2闰分子分母相加便得11年4闰。仍然太强，则以11年4闰与8年3闰分子分母分别相加，便得19年7闰。赵歅的闰周以11年4闰为强率，19年7闰为弱率，取强数为1，弱数为31，便得600年221闰。祖冲之取强数为1，弱数为20，便得391年144闰。其他闰周也可以此求出①。

闰周中年数和闰月数的比数，决定于回归年和朔望月的长度。根据在一闰周内回归年日数和朔望月日数相等的假设，设闰周年数为y，闰月数为m，便得：

$$\frac{m}{y}=\frac{\text{回归年}}{\text{朔望月}}-12$$

即闰周月数与年数之比等于回归年值与朔望月值之比减去12。求得回归年值和朔望月值，便能导出闰周。反之，由回归年值(或朔望月值)和闰周，也可导出朔望月值(或回归年值)。

闰月安插的间距，等于闰周中的平月数与闰月数之商。它后来演变成以无中气之月为闰月。按今测值，回归年为365.2422日，朔望月为29.530588日，利用上式可得10万年中有120万个平月，36827个闰月，由此可得闰月间距为32.583月。古历闰周的精度可以此为标准进行比较，四分历为32.571月，赵歅为32.579月，祖冲之为32.583月，可见精度是逐次提高的。比较的结果可以得知，祖冲之大明历的闰周是我国使用闰周的古历中最为精密的数值。

五、创立冬至时刻的测算方法

取得精密的天文观测数据，是制定精密历法的重要基础。祖冲之很重视天文观测，他在《历表》中说："测以定形，据以实效，悬象著明，尺表之验可推，动气幽微，寸管之候不忒。"可见他在用圭表测日影定季节和用浑仪测天体定方位方面，都做过具体工作。他在《辩折》中也说："量检竞年，测数减均同；异岁相课，则远近应率。"证明他是经过多年测算，反复校验的。因此，大明历中许多精密的天文数据，

① 关于调日法请参阅本书"何承天"一节；《调日法研究》，《自然科学史研究》，1984年第3期。



例如，回归年的数值，交点月，岁星恒星周期等，都是他勤于观测的结晶。

祖冲之在《历表》中说："何承天所奏，意存改革，而置法简略，今已乖远。以臣校之，三睹厥谬：日月所在，觉差三度；二至晷影，凡失一日；五星见伏，至差四旬，留逆进退，或移两宿。分至乖失，则节闰非正，宿度违天，则伺察无准。"在祖冲之的检测下，元嘉历的差误全部暴露无遗。不纠正这些差误，就不能准确地预报天象。

在祖冲之所从事的各种天文观测中，成就最大也是最值得人们称道的要算是冬至时刻的观测了。其观测和计算的方法载在《辩折》中。他于大明五年测得：10月10日中影10.7750尺；11月25日中影10.8175尺，11月26日中影10.7508尺。10月10日中影比11月25日短，比11月26日长，若以25日至26日中影之差(10.8175－10.7508)作为1日(计100刻)中的差率，则在25日中午至26日中午之间，必然可以找到某个时刻X，它的影长与10月10日的影长相等：

X刻：(10.8175尺－10.7750尺)＝100刻：(10.8175尺－10.7508尺)

即得11月25日中午后63刻中影与10月10日中午等长，此两时刻间相距45日63刻，折半得22日81刻，即求得冬至时刻为11月3日夜半后31刻。

以往人们发明圭表，利用中影的变化来测定季节。由于冬至前后数天内中影变化缓慢，想要测定一个准确的冬至日期都很不容易。现今祖冲之发明了新的观测方法，不仅能轻易地得到冬至的日期，而且能准确地求得冬至的时刻。这在中国天文学史上，不能不认为是一个巨大的进步。中国古代测定冬至时刻的传统方法仅此一种，而且一直沿用到明代而没有改变，可见祖冲之贡献之大(见图3－16)。

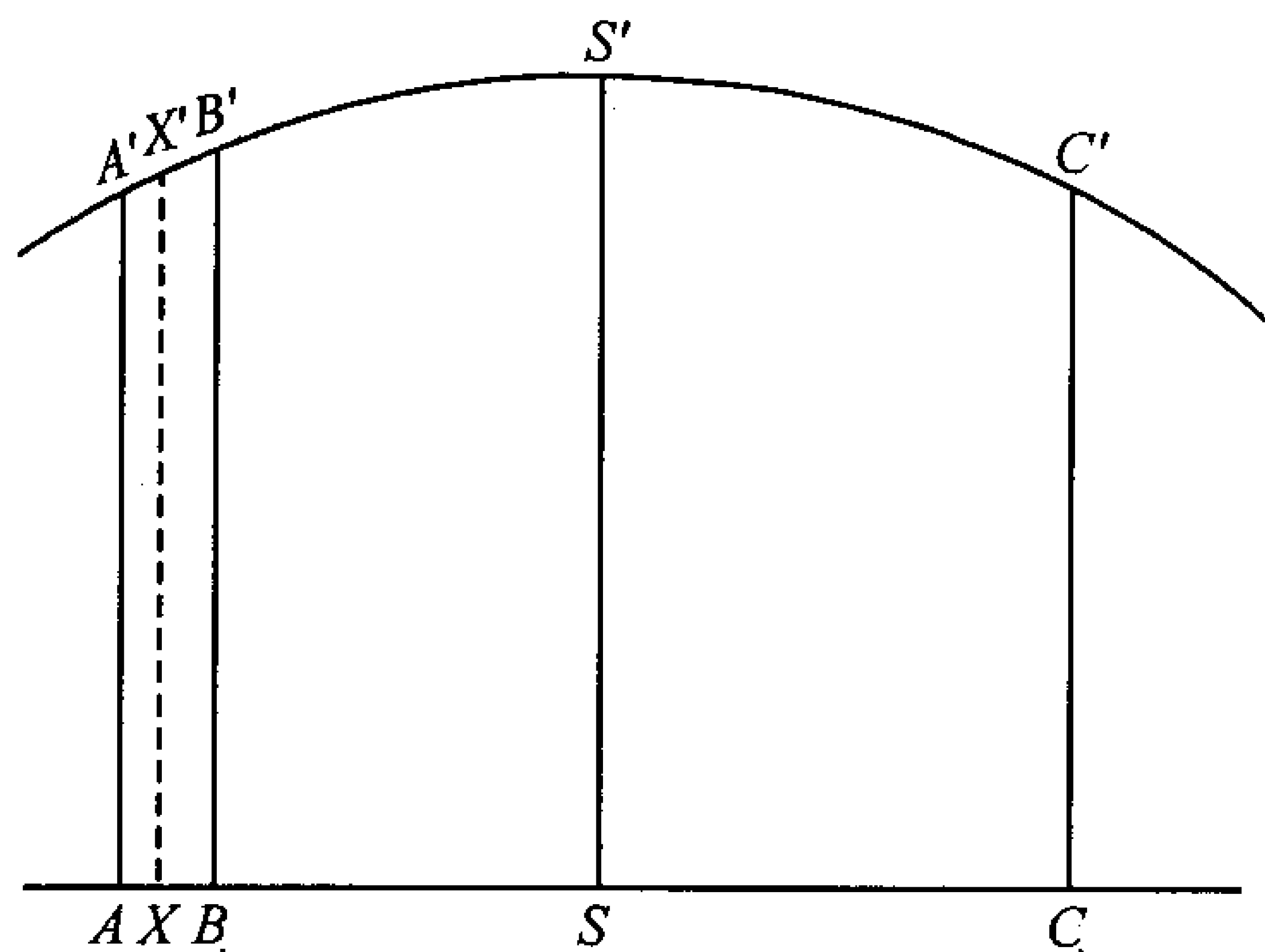


图3－16 冬至时刻的测定

A、B、C分别代表11月26日、11月25日和10月10日中午时刻。AA'、BB'、CC'分别表示这三日的中影长度，X为在11月25日和11月26日中午之间与10月10日中影等长的时刻。冬至中影SS'最长，则$XS=SC$。



祖冲之不但自己实测决定当时的冬至时刻，同时还利用古代的观测记录应用自己发明的方法进行推算。他曾注意到东汉熹平三年二十四节气中影的观测记录，发现对称的节气中影并不对称，例如立春中影9尺6寸，立冬中影1丈[①]，而立春的日差是可以补测的。利用熹平三年立春、立冬的中影差，便可求得熹平三年前冬至的日期和时刻。计算的结果，得冬至在11月6日乙亥夜半后38刻。按四分历推得那年为丁丑午正冬至，历面后天2日12刻[②]。这两次冬至观测记录相距288年，共积105189.93日，两者相除，便得回归年为365.24281日。大明历纪法39491，岁余9589，两者相除，得大明历回归年日余数为0.24281。与以上所得完全相同。由此可知大明历回归年长度是从这两次冬至实测记录导出的。南北朝隋唐历法的岁实大多徘徊于365.246至365.244日之间，而大明历的岁实出奇地精密，正是得益于祖冲之所发明的冬至时刻的观测方法。由此可见此项发明的巨大意义。南宋以后诸历求得更精密的岁实，无不借助于此法的威力。

六、创立以交点月预报交食的计算方法

中国古历从三统历开始，就出现有推算交食周期的方法，以135个朔望月中有23交，即每隔$5\frac{20}{23}$个朔望月可能会出现一次交食。这个周期，大致与半个交食年相当。在天文学上，只有当日月都在黄白交点附近时，才会发生交食，太阳从黄白升交点起经降交点运行一周再回到升交点所需的时间称为一个交食年。因此，中国古历从三统历开始，经乾象历、景初历等，都用交食年的周期来推算交食可能出现的月份。



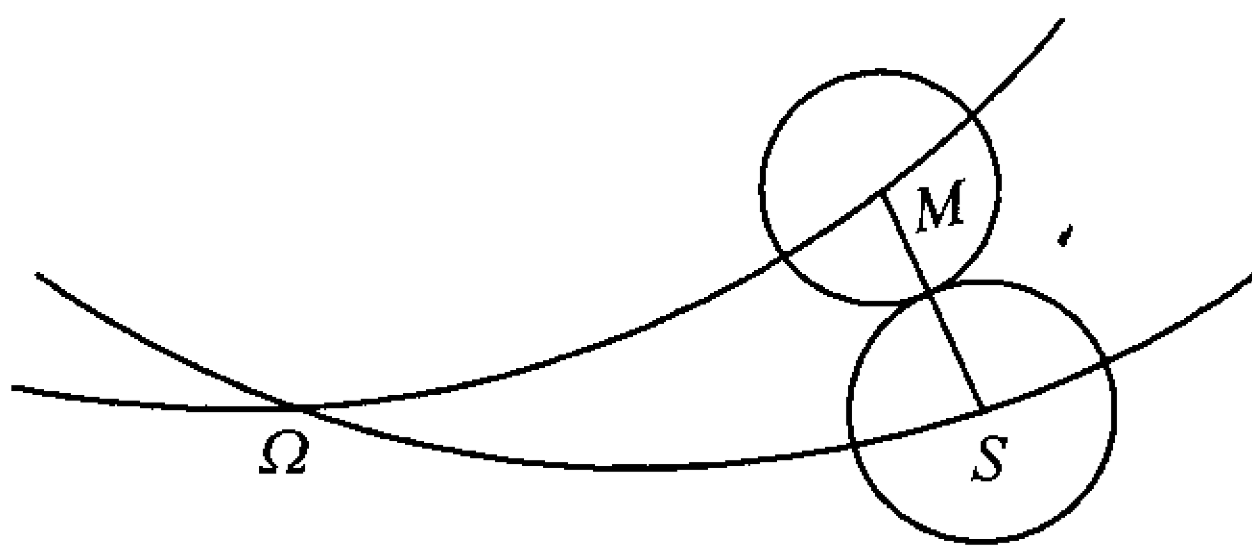


图3—17　食限示意图

从景初历开始，有推算食限的方法。在图3—17中，设Ω为黄白升交点，S、M分别为合朔时太阳、月亮在黄道和白道上的位置，ΩS、ΩM分别为太阳、月亮至交点的距离。在中国古代天文学上，这个距离往往改用日月距交点的日数来表示。合

① 见《续汉书·律历志下》末尾二十四节气晷影表。

② 《宋书·律历志下》中之《辩折》。



朔时太阳至交点的距离可以用下式来求得：

$$\Omega S=\left\{(\text{朔积日})\div(\frac{1}{2}\text{交点年日数})\right\}(\text{取余数})+\text{日行盈缩改正值}$$

此式即表示某个朔日太阳至交点的距离，等于历元以来的总积日数，被半个交食年除后所得的余数，发现日行盈缩以后还要做出这部分的改正。当时规定日距交点15度左右才有交食发生，这就是食限。利用太阳距交的数值还可进一步求出食分和入交方向。这是完全不考虑月行的算法。

月亮有四种运动周期。人们为了推算月亮圆缺的变化而建立朔望月；为推算月在恒星间的位置而使用恒星月；又因为月亮有迟速运动又建立起近点月的概念；刘洪已测得黄白交角，并初步建立起月去黄道南北的推算方法，但只有到祖冲之时，才明确地建立起交点月的概念。有了交点月的概念和推算方法，就能知道月亮何时穿过黄道以及任何时刻与黄道的相对位置。祖冲之发明交点月计算方法的目的，在于探索以月亮的交点运动来推算交食的新途径。

与以上所介绍的利用交食年的周期来预报交食的方法相类似，也可以利用交点月来预报交食。公式如下：

$$\Omega M=\left\{(\text{朔积日})\div(\frac{1}{2}\text{交点月日数})\right\}(\text{取余数})+\text{月行快慢改正值}$$

以交点月判断交食的食限与交食年的食限值大致相同，不过有了一个更形象的规定，即等于朔望月日数减去交点月日数折半。祖冲之推得的交点月为27.21222日，已相当精密，仅有十万分之一日的误差。利用祖冲之所测的交点月值，求得大明历所定的食限值为15.5度，与现代所用的食限值已很接近。由于月亮比太阳便于观测，又月亮运动快，位置变化显著，故用交点月代替交点年预报交食较优越，这也是中国古代天文学上的一大进步。祖冲之发明利用交点月预报交食的方法，对于中国古代的交食预报也作出了重要的贡献。

（撰稿人：陈久金）



第七节　李业兴

李业兴（483—549）是北魏时的天文学家。他的成就大都在历法的编制方面。关于其经历和所编制的正光历、兴和历，在《魏书·儒林列传》《魏书·律历志》和《北史·儒林列传》中分别有所记述，表明他所取得的成就，在当时具有较为重要的地位。

李业兴是上党长子（今山西省上党市）人，曾被推举为孝廉，并担任过校书郎。后来还担任过骑兵参军、通直散骑侍郎、征虏将军、中散大夫等官职，并被封为长子

伯、开国子等爵位。他自幼勤奋好学,《魏书·儒林列传》中说:他“少耿介,志学精力,负帙从师,不惮勤苦。耽思章句,好览异说”,“后乃博涉百家,图纬、风角、天文、占候无不讨练,尤长算历”。可见其知识相当渊博,而天文历算则是他的专长。

在北魏天兴初年(398),官方所采用的历法是杨伟所编制的景初历,这部历法经过近 200 年的行用,一直没有改进,“岁年积久,颇以为疏”,“术数差违,不协晷度”①,已经不能适应当时人们的需要了。439 年,北魏灭北凉,统一了中国的北方。人们发现北凉赵歐的玄始历比景初历精密,于是官方始采用玄始历。但是经数十年的使用,这部历法的误差也已十分显著:“然其星度,稍为差远”②,“节气后辰下算”③。于是编制新历的工作就提上了议事日程。但由于各种原因,一些改历的尝试均未能奏效。

延昌四年(515)冬,担任校书郎的李业兴献出了他新编制的历法《戊子元历》,要求官方颁布施行。与此同时张洪、张龙祥分别编撰了新历,也要求官方颁行。一时争执不下,三历均未能顺利获得颁行。官方组织了有关人员对三历进行了长达三年的考察测验,并且与卢道虔、卫洪显等六人分别制定的历法进行了比较,最后采取了“总合九家,共成一历”的做法,也即要分别取各历之所长,编成一部较为精密的历法,再予以颁行。九家历法的编撰者共同推举李业兴来主持这项工作。最后终于编撰了一部“元起壬子,律始黄锺,考古合今,谓为最密”的历法,得到官方的承认,命名为正光历。在正光历的编撰过程中起主要作用的是张龙祥和李业兴。

正光历颁行使用了二十多年后,其误差日益显露出来,到了东魏孝静帝时代(534—550),人们就发现正光历“气朔稍违,荧惑失次,四星出伏,历亦乖舛”。兴和二年(539),李亚兴又接受了编制新历的任务,编撰了甲子元历。该历因在兴和年间颁行,人们称它为兴和历。



在《魏书·律历志》中全文收录了《正光历》和《兴和历》,我们可以据此来研究这两部历法的水平。

按照有关公式④可以知道,在李业兴所处的时代回归年的长度应为 365.2423 天。南北朝时著名的科学家祖冲之所编撰的大明历中采用的相应值为 365.2428 天,只相差 0.0005 天,是相当准确的。正光历、兴和历中的相应值分别是 365.2437 天和 365.2442 天,与计算值分别相差 0.0009 天和 0.0014 天。表明它们所采用的回归年长度不如大明历精密。但是与同时代的其他历法相比,它们的采用值偏差

---

① 《魏书·律历志上》。

② 《魏书·律历志上》。

③ 《魏书·列传第七十二·儒林》。

④ 《中国天文年历》“天文常数”栏。



却是最小的，其精度还算是比较高的。类似地，两历所采用的朔望月长度分别为29.530593天和29.530605天，与由公式计算得到的值29.530586天相差极微。因此李业兴所采用的回归年、朔望月的周期都是很精密的。

在正光历中，有一种用来推算日月交食的周期，称为会数。它相当于太阳从黄道与白道的一个交点运动到另一个交点所需的时间。显然，会数的两倍即相当于现代所说的食年。根据有关的公式[①]可以计算出当时的食年长度应为346.6196天。而《正光历》中的会数取为173 $\frac{23208}{74952}$天，其两倍则为346.6193天，与计算值仅相差0.0003天。这样精确的数据确实是令人惊叹的。这一周期如此精确，对提高推算日月食的准确性肯定是有意义的。在兴和历中相应的食年长度取为346.6437天，不如正光历精确。

在"推合朔入历迟疾盈缩术"一节中，正光历列出了每天月亮运行的角度值，其中采用月亮每天平均运行13 $\frac{186}{505}$度，相当于13.17616。据此可以算出月亮运行一周天所需要的时间为27.32206天，这相当于恒星月的长度。采用有关的公式可以算得，当时的恒星月长度为27.32166天，两者只相差万分之四天，可见正光历中所采用的月亮平均运动速度是相当精确的。在兴和历中，月亮每天平均行度取为13 $\frac{207}{562}$古度，即13.17617，由此求出月亮运行一周天所需的时间为27.32206天，这相当于恒星月的长度。采用有关的公式[②]可以算得，当时的恒星月长度为27.32166天，两者只相差万分之四天，可见正光历中所采用的月亮平均运动速度是相当精确的。在兴和历中，月亮每天平均行度取为13 $\frac{207}{562}$古度，相当于13.17617，据此可以算出月亮运行一周天所需的时间为27.32204天，与计算值只有十万分之二天的差异，其精度更高。两历中月亮的平均运动速度如此准确，说明了当时人们的天文观测水平是相当高的。



东汉后期，刘洪编撰的乾象历中第一次列出了月亮运行迟疾的有关情况，表明当时人们掌握了一种相当于近点月的周期。根据乾象历中的有关数据[③]，可以知道这个周期的长度为27.55366天，这与用有关公式[④]计算出来的近点月长度27.55457天相差已不太大，以后颁布的几部历法所采用的相应值均为27.55451左

① 《中国天文年历》"天文常数"栏。

② 《中国天文年历》"天文常数"栏。

③ 《晋书·律历志中》。

④ 《中国天文年历》"天文常数"栏。

右，与计算值只有十万分之六天的偏离。正光历、兴和历中采用的相应值分别为$27\frac{41562}{74952}$天和$27\frac{115631}{208530}$天，具有相同的高精度。

正光历、兴和历还较为详细地阐述了当时人们对太阳经过黄道与白道交点的时刻与发生日月食关系的认识。它们所讲的情况基本相同。在正光历中讲到："交在望前者，其月朔则交会，望则月食；交在望后者亦其月月食，后月朔则交会。交正在望者，其月月食既，前后朔皆交会；交正在朔者，日食既，前后望皆月食。"[①]我们知道，当朔、望发生在黄道与白道交点附近一定范围内时就会发生日食和月食。如果望恰好发生在这交点上时，在望的前后两次朔，因太阳还在日食的界限之内，所以都会发生日食。因此，"交正在望者，其月月蚀既，前后朔皆交会"是很有科学道理的。这里的"交会"显然是指发生日食。类似地可以知道，如果望发生在太阳过交点前两天时，也发生月食，前后的两次朔也会发生日食。但如果望发生在太阳过交点前两天以上时，则前一次日食就不可能发生了。所以，"交在望后者亦其月月蚀，后月朔则交会"也是完全符合实际情况的。同样地，"交在望前者，其月朔则交会，望则月蚀"也有一定的道理。可以大致算出，这必定要求太阳过交点是在望以前三天半以上才有可能发生。至于"交正在朔者，日蚀既，前后望皆月蚀"则与实际情况不符。因为在太阳过交点时发生朔，只可能发生日食一次，前后望时因月亮已经不在月食的界限之内了(这里所讲的月食均不包括半影月食，因为它不易为人们所察觉)。虽然两历中揭示的日月食与太阳过交点时刻之间的规律并不完全正确，但是作为古代人们研究交食的尝试，能做到这样，确实是相当不容易的。它反映了当时人们对日月食发生的规律已经有了相当充分的了解。

在正光历中还首先采用了推七十二候的计算方法。它是从冬至开始，约每5.0728天作为一候，列出了当时主要的物候变化情况。虽然其中有些物候的说法并不是十分科学的，如"腐草化萤"、"田鼠化为鴽"等，但它却可能反映了相应的一候中萤火虫、鴽鸟大量繁殖、出现。总的说来，它们大体上反映了大自然在一年中的变化，对农业生产和其他生产活动是有利的。在兴和历中也有相应的内容。以后的不少历法，包括唐代僧一行的大衍历、元代郭守敬的授时历这样著名的历法中都采用了类似的推算方法。



在两历中还有一种推上朔日的方法。清代阮元所编的《畴人传》评论这种方法时说："正光、兴和二术，并有推上朔法，自汉迄明，诸家术皆无之，谨案见行时宪书上朔日不宜会客作乐，以业兴术推之正合，盖其说出于选择家也。"可见，这是李业兴所独有的推算方法，但将上朔日与人们的社会活动联系在一起，就不是很科学

---

① 《魏书·律历志上》。



了。而从推算方法来看，上朔日与各种天文现象均无明显的联系，它并没有什么科学意义。上朔日的推算显然是一种荒诞迷信的做法，是历法工作中的糟粕。

在日心说产生以前，人们对行星运动规律的认识一般来说总是比较粗糙的。在正光历、兴和历中，五大行星位置的推算也不很精确。正光历在行用二十多年后，除了在推算节气和朔望上的误差不大外，它所推算的五大行星的位置与实际情况便有较大的偏离。兴和历在颁行之前，曾经有过一场争论。当时的一位天文学家信都芳对这部新历的驳难主要也就是集中在对行星位置的推算方面。他指出按照新历的推算，兴和元年(538)十二月二十日土星的位置与实际情况相差达 5 度，相应地木星相差 2 度，金星相差 4 度，认为其误差太大。李业兴对此做了解释，提出了“七头一终”的概念。他认为制定历法的人在推算五星的位置时必须掌握行星的迟、疾、留、逆、顺、伏、见这七种表示其运动规律的特征，称为“七头”；还需掌握其合终日数，即相当今天人们所说的会合周期，这就是所谓“一终”。他说：“造历者必须测知七头，然后作术。得七头者造历为近，不得七头者其历甚疏。”[①]把七头一终看作衡量推算五星位置水平的标准。他将新历与赵𢾺的玄始历、南朝刘宋何承天的元嘉历、祖冲之的大明历进行了比较，在推五星的出没方面，四十余年里其偏离是最小的。但是他也承认：“天道高远，测步难精，五行伏留，推考不易，人目仰窥，未能尽密，但取其见伏大归，略其中间小谬，如此历便可行。”较客观地承认了在这个问题上存在的困难。

在正光历、兴和历中，五星位置的推算都是根据历元和其会合周期先求出它们与太阳会合的日期，由当时太阳的位置就可以知道这时行星的位置；再根据在一个会合周期中行星运动的情况推算其在某一时刻的位置。由于当时人们尚未普遍认识到太阳周年视运动是不均匀的，在推求太阳位置时的误差就不可避免地会影响到行星位置的推求精度。另外，在一个会合周期中行星的运动情况，两历也只是列出了各段运动的日平均速度，这与实际情况也有出入。会合周期上微小的误差对推算也会有一些影响。其会合周期见表 3－4 所列，表中还列出了在此前后的一些历法中采用的相应值和今测值(表列值以天为单位)。



由表中可见，正光历、兴和历中所采用的五星会合周期与今测值的偏离除木星稍大外，其他均与当时的一些历法基本相当，它们还算是比较准确的。

从以上情况可以看出，李业兴所主持编制的两部历法，虽然有一些缺点，但在某些方面还是比较先进的，精确度有所提高，并有一些独特的创造，在我国古代历法发展史上占有一定的地位。

---

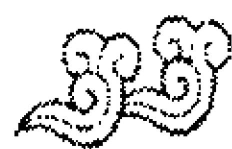
① 《魏书·律历志下》。

表3—4　会合周期(以天为单位)

	水星	金星	火星	木星	土星
今测值	115.878	583.922	779.937	398.884	378.092
正光历	115.872	583.850	779.843	398.789	378.056
兴和历	115.878	583.860	779.898	398.748	378.058
大明历	115.880	583.931	780.031	398.903	378.070
景初历	115.873	584.089	779.815	398.942	378.096
元嘉历	115.881	583.957	779.759	398.873	378.080
皇极历	115.878	583.917	779.899	398.882	378.089

李业兴对殷历、黄帝历等古历也有一定的研究。“业兴以殷历甲寅、黄帝辛卯，徒有积元，术数亡缺，业兴又修之，各为一卷，传于世。”[①]他还编撰过一部名为九宫行棋历的历法：“以五百为章，四千四十为蔀，九百八十七为斗分，还以己未为元，始终相维，不复移转，与今历法术不同。至于气序交分，景度盈缩，不异也。”[②]可见它与正光历、兴和历大同小异，只是历元和一些有关的数据有一点不同而已。由于历法的全文未流传下来，不能对它做详细的研究。但据清代汪曰桢考证[③]，“其章法应为五百零五，斗分应为九百八十五”，并推断“其章闰与正光历相同，也为一百八十六”。根据有关的数据就可知道该历所采用的岁实为365.2438天(如按原斗分计算，其岁实为365.2443天)，其朔策为29.53060天。

从以上情况，我们可以看出李业兴在历法的编制方面做了大量的工作，他编制的历法中有一些创造，精确度也有所提高，在当时天文历算工作中占有一定的地位。在我国古代历法发展的历史上，他的成就是不可磨灭的。



(撰稿人：郭盛炽)

第八节　张子信

张子信是北魏、北齐间著名的天文学家，也是我国古代最有作为的天文学家之一，他最主要的贡献是：发现太阳视运动的不均匀性、五星运动的不均匀性和视差

① 《魏书·列传第七十二·儒林》。
② 《魏书·列传第七十二·儒林》。
③ 汪曰桢：《古今推步诸术考》卷上。



对于交食的影响。这三大发现，对于历法的进步产生了巨大的影响，在我国古代天文学史上都具有划时代的意义。可惜，史籍关于张子信生平事迹及其成就的记述，十分简略，我们只能从这些简略的记载出发，逐一弄清其科学含义，究其前因后果，力图阐明张子信的天文学贡献及其在古代天文学史上的地位。

一、关于太阳视运动不均匀性的发现

我国古代对太阳视运动不均匀性的发现，较西方为晚，古希腊早在公元前 2 世纪，依巴谷由二分点不在二至点正中的事实，即已认识到太阳视运动并不是均匀的。而在我国，到张子信“始悟日、月交道，有表里、迟速”[①]，即直到公元 560 年前后，才明确地认识到在一回归年内日行有迟速变化的现象。

张子信的这一发现，是由与希腊不同的独特途径得到的，而且应用了与之不同的方式加以描述。唐代一行在《大衍历议》中指出：“北齐张子信积候合蚀加时，觉日行有入气差，然损益未得其正。”[②]这是说：张子信是由交食发生时刻的认真观测研究入手，发现如果仅仅依传统的考虑月行不均匀性的影响，推验交食时刻总是不够准确，必须加上一修正值，才能使推算结果与实测的交食时刻相吻合。而这一修正值的正负、大小与节气有稳定的、密切的关系，张子信称之为“入气差”。由此，张子信推衍出了日行速度随节气而异的明确结论。显然，他已给出了廿四节气的定量的“入气差”（即后世所谓盈缩值），只是史缺其载，而且“损益未得其正”，有待后人进一步观测研究，以做出符合实际的校正。

史载关于张子信对日行迟疾的具体描述，仅有这样一句话：“日行春分后则迟，秋分后则速。”[③]在张子信所处的时代，近日点约在冬至点前 12 度，所以，这句话大体正确地反映了日行在春分、秋分前后速度变化的实际情况。这句话还可以理解为：春分到秋分日行的速度较平均速度小，而秋分到次年春分日行速度则较大，由此自然便可推出从春分到秋分所需日数（或度数）应较从秋分到次年春分为多的结论，即张子信也应发现了二分点不在二至点正中的事实。这一结论与事实当然可以从对上述“入气差”的分析中推知。又，据载张子信曾“隐于海岛三十许年，专以浑仪测候日、月、五星差变之数，以算步之”[④]，可惜张子信具体的测候与算步的方法，也不见记载。但既是专以浑仪测候，并由之悟日行有迟速，我们推想一种可能的方法应是：在用浑仪做长时期观测的基础上，推算出太阳交在赤道，即其去极度



① 《隋书・天文志下》。
② 《新唐书・历志三下》。
③ 《隋书・天文志下》。
④ 《隋书・天文志下》。

正好等于 91 度 31 分(今度 90°)时的定春分和定秋分时刻,再求出它们与平春分、平秋分时刻之差。后世如郭守敬就曾采用这一方法,其结论是“当春分(指平春分)前三日(即定春分),交在赤道”,“当秋分(指平秋分)后三日(即定秋分),交在赤道”[1]。张子信测算的结果史亦不载,但刘焯在 604 年指出:“春秋定日,去冬至各八十八日有奇,去夏至各九十三日有奇”[2],张子信也可能已经测得类似的数值,即定春分应在平春分前二日有奇,而定秋分应在平秋分后二日有奇。这大约是张子信发现太阳视运动不均匀性的又一途径,同希腊人的发现途径有其相似性,但希腊人所用的是黄道系统的仪器,张子信用的是赤道系统的浑仪,两者所得的结果也不尽相同。

张子信所给定的二十四节气“入气差”值,实际上是后世得到发展的日躔表的前身,即他已经创造了描述太阳视运动不均匀性的中国式的传统方法,这是一种同希腊的几何方法截然不同的代数方法。

张子信的这一发现与创造,很快引起了天文历法家的重视和广泛的研究。576 年,“有广平(今河北鸡泽县)人刘孝孙、张孟宾二人,同知历事。孟宾受业于张子信,并弃旧事,更制新法”,据称他们的历法——武平历和孟宾历较以前的历法有较大的进步,其“盈缩转度,阴阳分至,与刻漏相符,其日影俱合,循转无穷”,这应是他们已经引进了张子信的新发现的结果。同一年,“又有赵道严,准晷影之长短,定日行之进退,更造盈缩,以求亏食之期”。[3] 可惜这三人的具体成果均未流传下来。其后不久,在刘焯的皇极历(604)和张胄玄以武平历为蓝本的大业历(608)中,则有了日躔表的明确记载,但他们对太阳视运动不均匀性的描述还与实际情况有较大的出入。一直到一行的大衍历(728)所测定的日躔表才比较真实地反映了太阳视运动不均匀性的状况。值得注意的是:一行测定的日躔表的方法与赵道严的方法类同,一行曾指出:“以二十四气晷景,考日躔盈缩而密于加时。”[4]这正与张子信考亏食之期,而求盈缩之数的方法相反,是用测量二十四气晷影的方法求得较准确的日行盈缩之数,这又是一种有别于希腊的独特方法。



太阳视运动不均匀性的发现,使我国古代推求定朔的方法得以成熟与完善,同时大大提高了交食推算的精度,从而把我国古代历法提高到一个新的水平。

二、关于交食的研究

张子信关于交食的研究有重大的贡献,正如一行指出的:“黄初(220—226)已

---

① 《元史·历志一》。
② 《隋书·天文志上》。
③ 《隋书·律历志中》。
④ 《新唐书·历志三下》。



(以)来,治历者始课日食,及张子信而益详。”[①]综合起来,其贡献有以下三个方面。

1. 关于交食时刻的研究

据史载,北齐末年,宋景业的天保历(550)差舛并出,改历之议蜂起,于是在后主武平七年(576),诏令各“历家预刻日食”,以别历法之优劣。这年“六月戊申朔,太阳亏,刘孝孙言食于卯时,张孟宾言食于甲时,郑元伟、董峻言食于辰时,宋景业言食于巳时。至日食,乃于卯甲之间,其言皆不能中。争论未定,遂属国亡。”[②]即刘、张两家预报的食时与实测食时之差均为2刻,郑、董为10刻,而宋则为18刻。据研究,在此之前食时预报的误差在15至8刻之间[③],郑、董和宋的预报大约保持了过去的精度水平,大约他们仅仅考虑了月行不均匀性对交食的影响,而刘、张二家所达到的精度大大高于原有的水平,此中必定引进了新法。又据载刘、张二家对这次日食食时预报所达的精度并非偶中,而是“上拒春秋,下尽天统(565—569),日月亏食及五星所在,以二人新法考之,无有不合”[④]。这里果然提到了“新法”。我们认为所谓“新法”,不是别的,而正是张子信所发明的在推求交食时刻时,加上“入气差”的修正,即考虑日行不均匀性影响的新方法。

2. 关于交食食分多少的研究

一行《略例》曰:“旧历考日蚀浅深,皆自张子信所传,云积候所得,而未晓其然也。”[⑤]很显然所谓“旧历”指的是张子信以后、大衍历以前的历法,所谓“考日蚀浅深”,即推求日食食分多少的方法。查这期间的历法,如皇极历等,在推求交食食分时,同时考虑了日、月运动不均匀性的影响。那么据一行所说这种使食分推算精度有较大提高的方法,系由张子信所首创,只是后人根据新的观测与研究,各有所发展而已。



3. 关于视差对交食影响的研究

我们知道,太阳的地平视差平均不及9″,其对日食的影响可以略而不计;而月亮的地平视差平均为57′左右,对于我国中原地区(如纬度34°.5处)而言,由于月亮视差的影响,在各不同的情况下,月亮的视高度将要降低26′到57′不等,所以在预报日食时,月亮视差的影响是不可忽视的一个重要因素。如果未考虑这一影响,就可能产生推应食而不食,或推不应食而食的现象,也可能产生所推食时或先或后,所推食分或多或少的问题。

---

① 《新唐书·律历志下》。

② 《隋书·律历志中》。

③ 陈美东:《观测实践与我国古代历法的演进》,《历史研究》1983年第4期。

④ 《隋书·律历志中》。

⑤ 《新唐书·历志三下》。

由长期的观测与推验，张子信发现日食发生与否，除以合朔时是否入食限为断外，还与这时日、月所处的相对位置有关。他指出："合朔月在日道里则日食，若在日道外，虽交不亏。"[1]依据上所述及的月亮视差的影响，张子信所言其理甚明。就是说若合朔已入食限，月在日之北，月亮视差又使月亮的视位置偏向南方，所以必食无疑；若这时月在日之南，由于月亮视差造成月亮视位置南移，加大了日、月视位置间的距离，所以，虽入食限而不食。当然，张子信（也包括我国古代后世的历法家们）并不知道造成这种状况的真正原因，他只是从观测与推验古今日食的大量经验性资料中，发现了这一现象，并做出了合乎科学道理的结论。而且张子信的论述也还停留在定性的描述上。到刘焯的皇极历，也还只是重述了张子信的发现，并稍加发挥："月在日道里（'里'应为'外'），日应食而有不食者；月在日（遗'道里'二字）不应食而亦有食者。"[2]其中后一句是刘焯的发挥，意即若合朔时稍不及食限，依原先的理论是不应食的，但由于月在日之北，月亮视差使月亮视位置南移，于是可能发生食。一直到一行才第一次给出了计算视差对日食影响的经验公式，和视差影响因地理纬度不同而异的计算方法。视差对日食影响的研究，自张子信始历约 170 年，才实现了从定性向定量描述的飞跃。

张子信在谈到月食时指出："月望值交则亏，不问表里。"[3]说的也是视差的影响问题，他认为若望时只要入食限，必发生月食，而与这时日、月相对的位置无关。月亮进入地影，便发生月食，与观测者的位置无关，所以无视差的影响。张子信对这个问题的论述也是基本正确的，当然这同样是他经过长期的观测推验而得到的重要结论。

三、关于五星视运动不均匀性的发现



五星的视运动是十分复杂的现象，它们是五星自身的运动与地球运动复合而成的，表现为见、顺、逆、留、伏等不同的状态，而且所历的时间各异，顺、逆行的速度亦各不相同。自战国时期始，经秦、汉、魏、晋人们已经积累了相当多的关于五星的知识，并逐渐建立起了独特的预报五星位置的方法。人们是把五星在各自不同的一个会合周期内的不同状态，分成若干个不同的阶段加以描述。由于行星在每一个会合周期内运动的状态是各不相同的，人们取行星在若干个会合周期中各不同阶段所经时间、运动速度等的平均值，分别编撰成五星动态表。所以该表所描述的行星动态同某一特定会合周期的行星动态，就不能不存在一定的偏差，而这一偏差

① 《隋书·天文志下》。
② 《隋书·律历志下》。
③ 《隋书·天文志中》。



的大小，则主要是由行星与地球在其运行轨道上所处的位置决定的，因为当它们处于不同的位置时，其运行的速度也就不同。据张子信说这一偏差“少者差至五度，多者差至三十许度”。[①]

经过长期的观测，张子信发现偏差的大小是与五星所处恒星间的位置有密切的关系，他指出：“五星行四方列宿，各有所好恶，所居遇其好者，则留多行迟，见早。遇其恶者，则留少行速，见迟。”[②]诚然，张子信并无五星各循其椭圆形轨道运行的认识，但在这里他把五星运动速度的迟疾，同五星所处的特定的恒星背景联系起来，是与五星在其运行轨道上所处的不同位置有不同的运动速度的道理相吻合的。所谓“所居遇其好者”，当指五星在各自的远日点附近时的运动情形，“遇其恶者”，当指在各自的近日点前后时的运动状况。张子信当然也不了解之所以有迟疾的道理，所以，他引进了“好恶”之说，或所谓“五星见伏，有感召向背”[③]之说，用以说明上述现象。

张子信还指出：“辰星之行，见伏尤异。”[④]这是对五星运动观测研究的心得之言。在五星之中，以水星轨道的偏心率为最大，约为 0.2，所以，水星的运动不能不“尤异”。张子信进一步指出水星“晨应见在雨水后、立夏前，夕应见在处暑后、霜降前者，并不见。启蛰、立夏、立秋、霜降四气之内，晨夕去日前后三十六度内、十八度外，有木、火、土、金一星者，见，无者不见。”[⑤]对于后一段话，我们认为并无什么科学意义，而前几句话却是颇有道理的。这里，张子信把水星晨见和夕见时间的推迟，同有关的节气相联系，而不同的节气实际上是与各自不同的、特定的恒星背景相对应的，所以张子信实际上也就是把水星晨、夕见的推迟，同水星在其运动轨道上所处的不同位置联系了起来。我们可作下二图以讨论张子信所说的具体含义。图 3－18，在雨水后、立夏前，依常数水星应分别行至 A、B、C、D 点，但由于水星在 $\overset{\frown}{AB}$ 段内实际运行值较平均运行值要小，而在 $\overset{\frown}{CD}$ 段内实际运行则要快得多，所以它实际上分别行到 A'、B'、C'、D' 点，这样势必造成晨应见而不见的后果。图 3－19 在处暑后、霜降前，依常数水星应分别行至 E、F、G、H 点，但由于水星在 $\overset{\frown}{EF}$ 段内实际运行值较平均运行值要大，而在 $\overset{\frown}{GH}$ 段内实际运行则要慢得多，所以它实际上分别行到 E'、F'、G'、H' 点，于是造成了夕应见而不见的状况。



① 《隋书・天文志中》。
② 《隋书・天文志中》。
③ 《陪书・天文志下》。
④ 《隋书・天文志下》。
⑤ 《隋书・天文志下》。

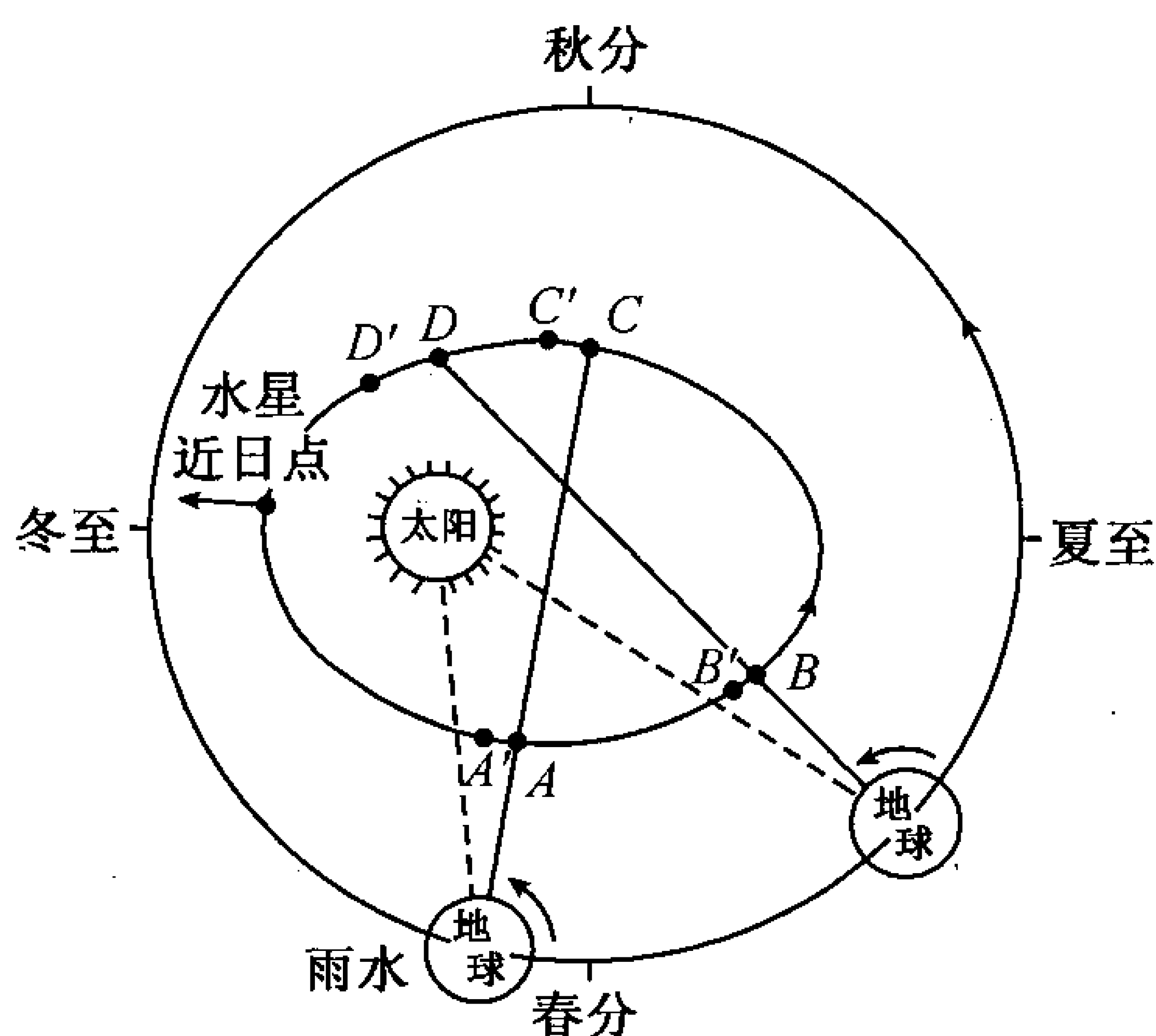


图 3－18　水星晨应见而不见示意图

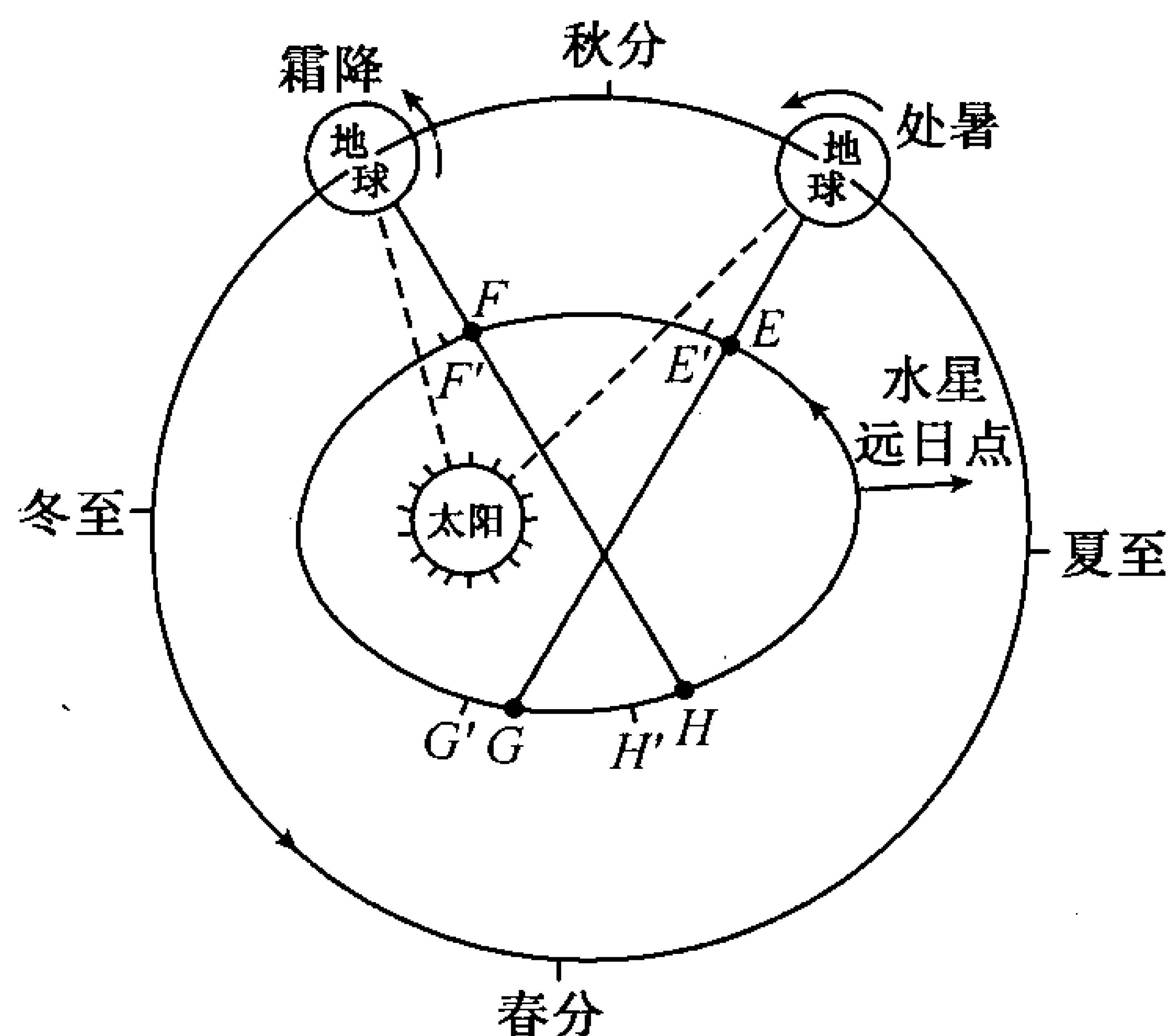


图 3－19　水星夕应见而不见示意图

又由图 3－18 知，水星近日点的黄经应为：雨水与立夏之间的清明（15°）减去水星晨初见时的去日度数（约 17°），再减去 90°，约等于 268°；而由图 3－19 知，水星的远日点黄经应为：处暑与霜降之间的秋分（180°）加上水星夕初见时的去日度数（约 17°），再减去 90°，约等于 107°。查张子信所处的时代，水星的近日点和远日点黄经应为 55°和 235°，则张子信所定值的误差均达百余度。由这些分析知，张子信所说前几句话的天文学含义是清楚的，虽然其误差还很大，但他已为后人的继续研究指明了重要的方向，开拓了一条前进的道路。

在谈到预报五星位置，必须加入因节气而异的改正值的方法时，唐李淳风曾说："后张胄玄、刘孝孙、刘焯等依此差度（指张子信所首创者），为定入交食分及五星定见定行，与天密合，皆古人所未得也。"[①]一行《略例》曰："其入气加减，亦自张子信始，后人莫不遵用之。"[②]北宋周琮在论及张子信的贡献时也说："旧历五星率无盈缩，至是始悟五星皆有盈缩加减。"[③]又说："凡五星入气加减，兴于张子信，以后方士，各自增损，以求亲密。"[④]众口一词，都把隋以后见于历法的先求五星平见，加上各不同节气的特定改正值，以求定见的方法的发明权归之于张子信。

张胄玄的大业历，在论及水星入气加减时，指出："晨平见，在雨水后、立夏前者，应见不见。启蛰至雨水，去日十八度外、三十六度内，晨有木、火、土、金一星已（以）上者，见，无者不见。立夏到小满，去日度如前，晨有木、火、土、金一星已（以）

① 《隋书·天文志中》。
② 《新唐书·历志三下》。
③ 《宋史·律历志八》。
④ 《宋史·律历志七》。



上者，见，无者不见。……夕平见，在处暑后、霜降前者，应见不见。立秋至处暑，夕有星，去日如前者，见，无者不见。霜降至立冬，夕有星，去日如前者，见，无者亦不见……”[①]这同上述张子信的意思完全相同，只是表达词句稍有变化。由此可见，李淳风、一行、周琮等人的说法不虚，而且说明大业历中可能还有一些内容直接源于张子信，但由于还缺乏确证，我们尚不可武断言之。

下面，我们再来讨论关于五星会合周期测定的问题。现将祖冲之大明历、李业兴兴和历、刘焯皇极历和张胄玄大业历的五星会合周期值列于表 3－5，另外印度《苏利耶历数全书》[②]所给值与现代观测值亦附上，以资比较。

表 3－5 大明历等历法五星会合周期值

历名	年代	水星(日)	金星(日)	火星(日)	木星(日)	土星(日)
苏利耶历数全书	约 400 年	115.8780	583.9002	779.9243	398.8892	378.0864
大明历	463 年	115.8797	583.9309	780.0308	398.9031	378.0698
兴和历	540 年	115.8788	583.8601	779.8982	398.8071	378.0582
皇极历	604 年	115.8778	583.9166	779.8987	398.8823	378.0892
大业历	608 年	115.8794	583.9216	779.9256	398.8821	378.0902
现观测值		115.8775	583.9214	779.9361	398.8840	378.0919

由表 3－5 可知，在张子信前后，五星会合周期的观测值与现测值平均绝对值误差，由祖冲之的 0.0295 日(约 42^m)、李业兴的 0.0422 日(约 61^m)到刘焯的 0.0096日(约 14^m)、张胄玄的 0.0032 日(约 5^m)，其进步是十分显明的。这正发生在张子信对五星运动做长达 30 多年的观测之后，是发人深思的。固然，我们并不排除刘焯、张胄玄等人进行的观测研究所取得的成绩，但无论如何，这一进步同张子信的工作有着密切的联系。



质言之，张子信发现了五星视运动不均匀的现象，并对之进行了定量的观测研究，而且在原有五星位置预报方法的基础上，首创了顾及五星视运动不均匀影响的、由平见求定见的新方法，在五星会合周期的测定上也取得了新的进展。据研究，五星位置的推算误差，在张子信以前在 8 度至 4 度之间，而在隋唐到北宋降至 4

① 《隋书·律历志中》。

② Rev. Ebenezer Burgess:《Translation of the Sûrya－Siddhânta》, University of Calchtta, 1935.

度至2度之间[1]，推算精度的这一提高，是与张子信的发现和创新密不可分的。

四、其他若干问题的讨论

1. 关于黄道岁差

我国古代最早指出岁差现象的是东晋人虞喜，随后刘宋的何承天、祖冲之又测定了岁差新值，祖冲之并首次把它引入历法中。但是，宋代对历法有很深造诣的沈括，却有如下一段议论，他说："汉世尚未知黄道岁差，至北齐张子信，方候知岁差，今以今在历校之，凡八十余年差一度。"[2]乍看起来，似乎是沈括犯了常识性的错误，然而，细审文义，沈括之说是不无道理的。

因为无论是虞喜、何承天还是祖冲之，他们所测算得的岁差均系赤道岁差，它是黄道岁差投影到赤道上的分量。在这里，沈括显然指出的是，张子信提出了有汉以来人们所未阐明的黄道岁差的概念，并测得了黄道岁差的具体数值。可惜，沈括没有记下张子信所得的具体成果，而只给出了沈括自己所处时代的历法所采用的岁差的大约数值。

何妙福曾指出是刘焯首先提出了黄道岁差的概念[3]，现在看来，这个结论有待商酌，即在刘焯以前，张子信已经提出了这一概念，而刘焯也许只是接受了这一观念，测得黄道岁差的新值并在历法中加以正确、合理的应用。

2. 两个张子信

据《隋书·天文志下》载："后魏末，清河（今河北清河县）张子信，学艺博通，尤精历数，因避葛荣乱，隐于海岛，积三十许年。"随后记述了我们已在第一、二、三小节中提及的张子信在天文学上的重大发现。它是史籍关于张子信其人其事的最主要的记载。



又，《北齐书·方伎传》和《北史·艺术传》均有张子信传，二书之说大同小异，现以《北史·艺术传》为准，简录其记述如下："张子信，河内（今河南沁阳县）人也，颇涉文学，少以医术知名，恒隐于白鹿山，时出游京邑，甚为魏收、崔季舒所重。太宁（561—562）中，征为尚药典御。武平初（570—576），又以太中大夫征之，听其所志，还山。""又善易筮及风角之术"，571年曾为奚永洛卜，奇验。"齐亡（577）卒"。

两种记载有同有异。同者最主要的有三：一是姓名全同；二是都说张子信曾过着隐居生活；三，查所谓"葛荣乱"是指发生于公元526年至528年间、以葛荣为首的一次农民起义，那么依《隋书·天文志下》之说，张子信的隐居生活，亦即他从事

---

① 陈美东：《观测实践与我国古代历法的演进》。

② 《梦溪笔谈·卷七》。

③ 何妙福：《岁差在中国的发现及其分析》，载《科技史文集》第1辑，上海科技出版社，1978年。



天文活动的最主要时间，当在 526 年到 560 年左右。这同《北齐书·方伎传》《北史·艺术传》所言在时间上似暗合。

异者最重要的亦有三：一是籍贯迥别；二是隐居的地点与原因不同，前者因避乱隐于海岛，后者自幼就隐于白鹿山(今河南辉县西接修武县处)；三是专长各异，前者以"尤精历数"著称，后者几与历数无涉，却主要以医术与占卜、风角知名。

《隋书》《北齐书》和《北史》均系唐人所撰，如果认为这些史书的作者说的是同一个张子信，其异者是不能解释的，相反，如果认为他们说的是北魏与北齐间有两个张子信，那么，三书所载同者所以同，异者所以异，就不难理解了。

查明代以前的史书，凡提及张子信时，多仅述及他在天文历法上的贡献，而周琮则重申了"因葛荣乱，隐居海岛三十多年"[①]之说，即均以《隋书》所载为准。到 18 世纪，来华的传教士宋君荣把两者混同起来，李约瑟博士似也同意这种观点。[②] 把两者混同并且影响最大的是清代阮元所编著的《畴人传》一书。在该书张子信传中所注资料出处为上述三书，而传文中全录《隋书·天文志下》所载，惟将"张子信，河内人也"代之以"后魏末，清河张子信"，全然不顾三书中不容混同的互异之处，轻率地把两者撮合为一。其影响所及甚广，以致如《辞海》张子信条亦认为张子信是"北齐天文学家，河内人"。对于这种混同，钱宝琮已提出否定的意见，他在介绍张子信其人和论及张子信的贡献时，就直书"清河张子信"[③]，这实际上已把《隋书》同《北史》、《北齐书》所载的两个张子信区分开来，我们认为这是正确的见解。

3. 张子信的发现与外来的影响

张子信在天文学上的若干发现，均较希腊、印度等国为晚，这些发现是否受到了外来的影响，李约瑟博士就提出过这个问题。在谈及太阳视运动不均匀性的发现时，他指出："比约(Biot，E)认为，印度《苏利耶历数全书》关于同一问题的观点，是以张子信和张孟宾的著作为根据的。但是，印度天文学中有许多希腊的东西，《苏利耶历数全书》的主要部分至少可以追溯到公元 400 年。从这些事实看，如果印度和中国不是各自独立的发明，那么，二张的著作倒似乎受到过印度的影响。"[④]



查《苏利耶历数全书》及其稍后的若干印度天文学的古籍，确实分别论及了太阳、五星视运动不均匀性以及视差等问题，它们可能受到了希腊的影响，但又较希腊有所改进。南北朝时期佛教盛行，随着佛教的东来，印度天文学知识的传入是完全可能的，所以我们并不排除张子信确曾受到过印度天文学知识影响的可能性。

---

① 《宋史·律历志八》。

② 李约瑟：《中国科学技术史》第四卷第二分册，科学出版社出版，1975 年，第 530～531 页。

③ 钱宝琮：《从春秋到明末的历法沿革》，《历史研究》1962 年第 1 期。

④ 李约瑟：《中国科学技术史》，第四卷第二分册，第 530～531 页。

但是，由于在张子信时代已经成型的中国天文学体系，同希腊、印度的天文学体系是这样的不同，概括起来说，前者是代数学的体系，后者是几何学的体系，它们据以描述日、月、五星运动的方式、方法均有很大的差异，所以任何搬用外来现成的天文学知识的事，都是不可能的。即使有过外来天文学新知识的传入，它也只能对中国的天文历法家起一定的刺激与启示的作用。

如前所述，张子信据以发现日行不均匀性的途径，主要是由研究交食的入气差着手的，而这一特殊方法的采用，可以追溯到东汉末年（公元二三世纪之交）的刘洪。刘洪虽然并未提出日行不均匀性的概念，但他的“消息术”应是发现日行不均匀性的先声[①]。张子信的继续研究，使刘洪的这一较少为人了解与注意的工作再获生机，并为新概念的建立提供了佐证。同样，张子信据以发现五星视运动不均匀性的途径，也是从五星平见与定见之间存在入气加减的观测研究入手的。他们同希腊、印度发现这些现象的途径截然不同。而且在张子信以后，人们逐步充实、提高或部分纠正张子信一系列发现的发展脉胳也历历可寻，走过与希腊、印度所不同的发展道路。就描述的方法而论，张子信所首创的一些方法，如日躔表、定见术等的创立，是传统历法中有关表格、方法（如月离表、步五星法等）合理、必然的发展，它们同希腊、印度的方法殊异。从所采用的一些天文常数加以考察，中、外亦各不同。如水星远日点黄经的测定，张子信所得不同于《苏利耶历数全书》所给值。《苏利耶历数全书》注重于测定五星的恒星周期，张子信显然是以观测五星的会合周期为主。表 3－5 中所示《苏利耶历数全书》的五星会合周期是由恒星周期推衍而得的，其值同皇极历、大业历均各不同，互有短长。其平均绝对值误差为 0.0088 日（约 13^m），与皇极历相仿佛，而较大业历所达的精度则要低得多。由此推论，张子信五星会合周期的观测值，大约亦不同于《苏利耶历数全书》。

总而言之，张子信对天文学的重大贡献，是在他前辈工作的基础上，经过他本人长期独立的观测与研究，循着独特的途径与方法，而有所发明与发现的。即便有过外来新知识的刺激与启示，也是经过张子信再观测与再研究的结果，并被成功地纳入到中国传统天文学的固有体系中去，从而把原来的天文学体系提高到一个崭新的阶段。

（撰稿人：陈美东）

① 参见本书第二章第九节。



第四章 隋唐天文学家

第一节 刘 焯

一、生平简介

刘焯(542—608),字士元,隋信都昌亭(今河北冀县)人。少年时曾学诗于信都刘轨思,受《左传》于广平郭懋当,问礼于阜城熊安生,皆不卒业而去。20岁以后,曾在武强县刘智海家读书十年,成为饱学之士。

隋朝建立以后,刘焯与著作佐郎王邵同修国史,参议律历。开皇三年(583),奉敕修造历法。第二年,张宾的开皇历得到颁行。刘焯与刘孝孙认为此历不知岁差,不知用定朔,上元时五星不同度等,对开皇历提出批评。张宾受到隋文帝的宠信,当时的太史令刘晖也附阿张宾,攻击刘焯等非毁天历,惑乱时人。刘焯受到革职处分,与刘孝孙一起被赶出京城。

开皇八年(588),张宾病故,刘孝孙弃掖县丞官,到京上书批判开皇历的错误。开皇十四年(594)刘孝孙在悲愤之下抱书推了棺材到皇宫前哭诉,这才引起隋文帝的注意,命人评比各家历法的优劣。也就在这时,司天监另一官员张胄玄也出来批评开皇历,并献出自己的历法。评比的结果证明开皇历缺点很多,但孝孙历仍未得到行用。不久刘孝孙便气愤而亡。

刘孝孙死后,张胄玄得到司天监另一官员袁充的支持,受命参定新历。这时刘焯也改进了自己以前的历法,命名为七曜新术,进呈给隋朝政府。但受到张、袁的反对而未被采用。

开皇十七年(597),张胄玄新历编成,并得到颁行。刘焯革职,张胄玄当上了员外散骑常侍郎,袁充为太史令。

胄玄历颁行以后,刘焯一方面揭露该历原本是抄袭的孝孙历,仅仅删去定朔而仍用平朔。另一方面,他再次改进自己的历法,于开皇二十年(600)进献给隋朝政府,定名为皇极历,刘焯被任命为太学博士。刘焯要求罢张胄玄的官,未获同意,官也不称意,便返回故里。

隋炀帝接位,准备颁行刘焯的皇极历,终因张胄玄、袁充的竭力反对而作罢。



刘焯于大业四年(608)去世,享年 67 岁。

刘焯精于历算,新撰《皇极历》首创用等间距二次差内插法来计算太阳月亮不均匀改正,在中国历法史上有重要地位。又提出在黄河流域平准之地沿南北两地同时测影,来检验千里寸差之说是否正确。著书论浑天说,以二至之影定去极晷漏,未能呈送即去世。刘焯一生身处逆境,常不得志,虽不断争论历法,却屡以败归,但他的学术成就,已为当代及后世学者所推崇。

二、刘焯对日月运动的研究

关于月亮运动不均匀现象,早在东汉时李梵、苏统已有发现,后来贾逵指出,月亮运动最快的地方每月移动 3 度,9 岁而一周。到刘洪首次在乾象历里给出了月亮在一个近点月内每日的运行速度表,第一次提出了计算月亮位置的方法,即一次内插法。刘焯在皇极历里也列出了他的月亮运动表,并创立用二次差内插法来计算月亮在任何给定时刻的位置。

关于太阳视运动不均匀问题,北齐张子信最先通过观测有所发现。刘焯在皇极历里仿照月离表的形式给出了太阳运动表,并也用二次差内插法来计算任何给定时刻太阳的迟速。根据这两份资料可以分析刘焯的日月运动理论。

表 4—1　月亮在一近点周内每日的运动速度

离近地点的天数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
月行度(分母 52)	764	757	749	738	726	713	700	688	674	660	648	639	632	626
化成度	14. .6923	.5577	.4038	.1923	13. 9615	.7115	.4615	.2308	12. .9615	.6923	.4615	.2885	.1538	.0385
理论计算值	14. .327	.240	.142	13. .995	.783	.515	.211	12. .884	.570	.282	.047	11. .884	.810	.839
离近地点的天数	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
月行度(分母 52)	628	635	644	655	666	679	693	705	719	732	744	754	761	766
化成度	12. .0769	.2115	.3846	.5962	.8077	13. .0577	.3269	.5577	.8269	14. .0769	.3077	.5000	.6346	.7308
理论计算值	11. .935	12. .149	.413	.724	13. .048	.361	.664	.854	14. .069	.202	.278	.302	.272	.195



表 4—2　太阳运动表

节　气	冬至	小寒	大寒	立春	雨水	惊蛰	春分	清明	谷雨	立夏	小满	芒种
太阳运动量	28	24	20	20	24	28	−28	−24	−20	−20	−24	−28
（分母 52）	14mm						15mm					
节气间天数	.680	.757	.834	.834	.757	.680	.757	.680	.603	.603	.680	.757
	14mm				15mm							
理论计算	.722	.776	.857	.965	.089	.225	.360	.489	.597	.681	.733	.748
节　气	夏至	小暑	大暑	立秋	处暑	白露	秋分	寒露	霜降	立冬	小雪	大雪
太阳运动量	28	24	20	20	24	28	−28	−24	−20	−20	−24	−28
（分母 52）	14mm					14.	15.					
节气间天数	.680	.757	.834	.834	.757	.680	.757	.680	.603	.603	.680	.757
						15.		14.				
理论计算	.726	.668	.528	.465	.336	.198	.066	.942	.840	.763	.717	.702

表 4—1 是皇极历给出的月亮在一近点周内每日（24 小时）的运动速度，第二行是理论计算值。为了近似于皇极历的情况，用了 723 年 12 月 11 日 16 时 24 分过近地点的一近点周做比较，结果如图 4—1 所示。两者相近似是显而易见的。平均绝对误差 0°.26，约合 28 分，此即表示月亮位置的测量精度。

$$\frac{\sum |v_i|}{28} = \frac{7.22}{28} = 0.26$$

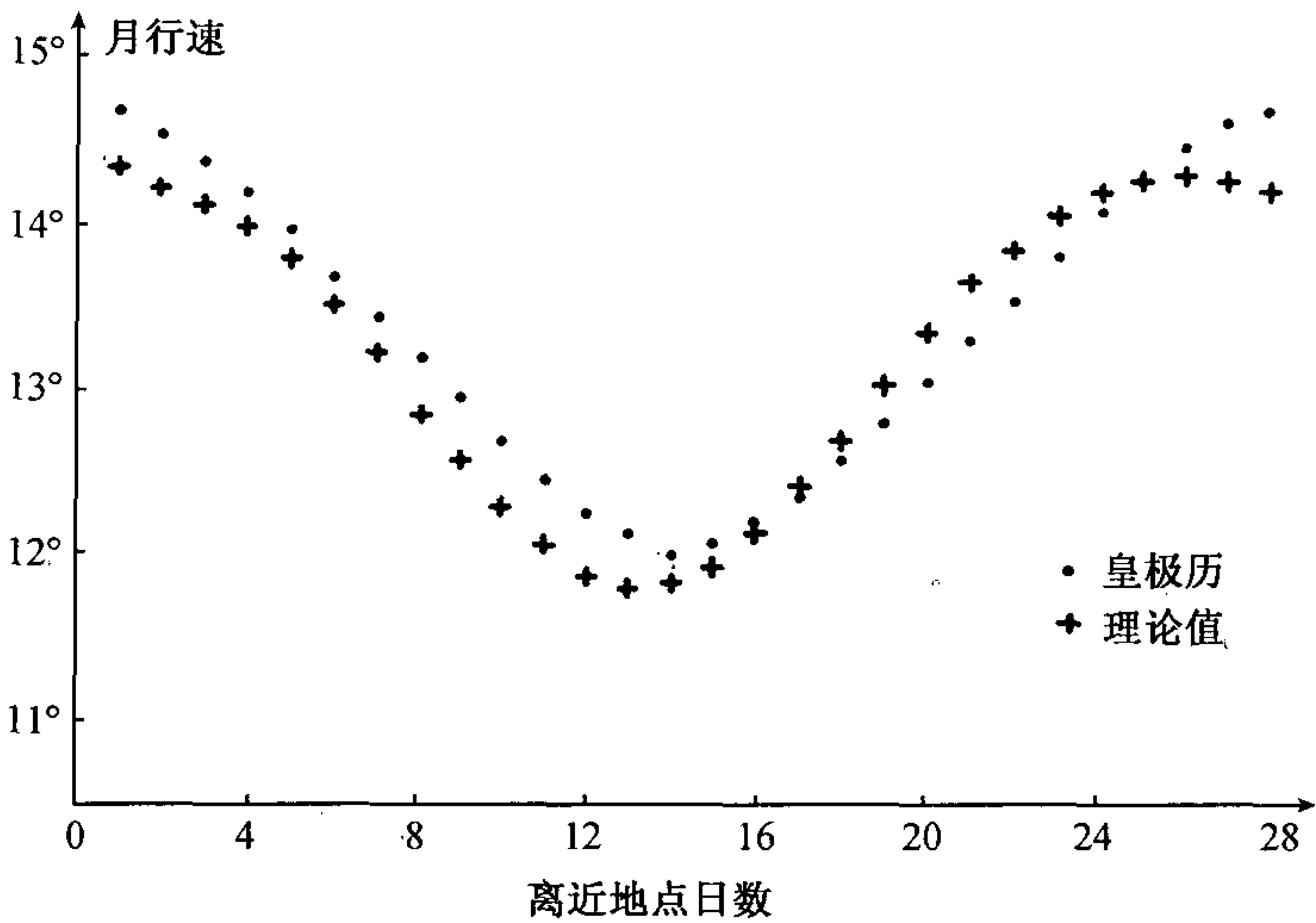


图 4—1　皇极历月行迟速与理论值的比较



表 4－2 是皇极历给出的太阳运动表。

据此可以画出一年中太阳视运动的变化曲线，如图 4－2，不用多说，这与实际情况相差颇大。首先，太阳视运动的速度变化是以一年为周期的（准确地说是以一近点年为周期的），而这里是以半年为周期。其次，冬至、春分、夏至、秋分四个点上太阳速度的变化是跳跃性的，从最慢跳到最快，或者相反，这不符合逐渐变化的实际情况。再有立春、立夏、立秋、立冬四点上也有快慢的转折变化，亦不符实际。还有，将冬至点作为最快点，中国古历一般这样认为，但实际是有差别的。现以开元十二年各节气间的真间隔列于表中以资比较，其平均绝对误差为 0.43 天，如以太阳每天行 1 度计，则约为 0°.43，即表示太阳位置的测量精度，相应于节气的误差为 10 小时 20 分。

$$\frac{\sum|v_i|}{24}=\frac{10.305}{24}=0.4294(\text{天})(10.3\text{ 小时})$$

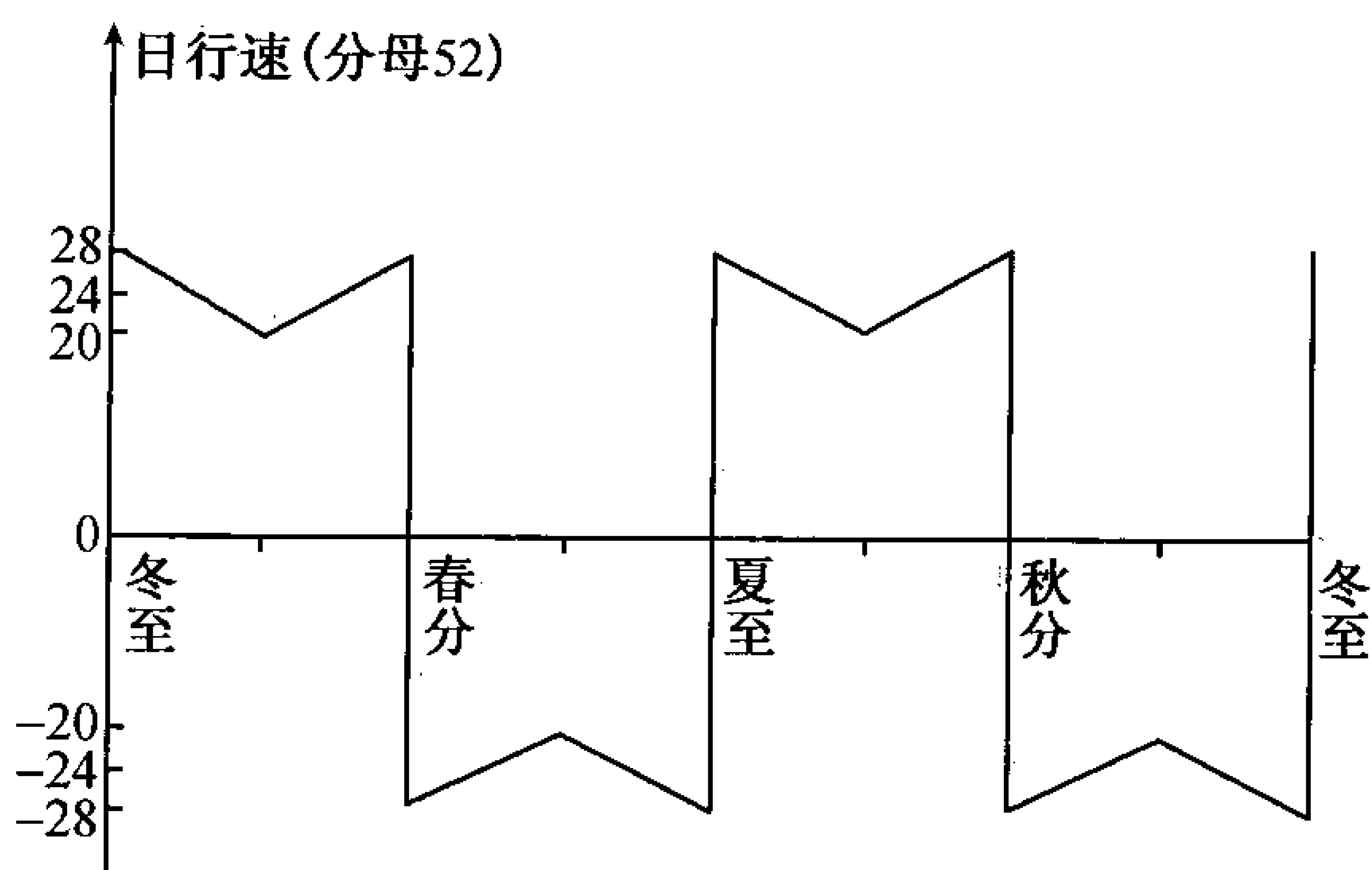


图 4－2　一年中太阳运动速度变化情况

从月离表与日躔表得到的日月位置测量精度分别为 0°.26 和 0°.43，两者同数量级，这可能表明刘焯时代的观测技术精度在半度左右。

三、交食计算方法

刘焯的皇极历开隋唐历法之先，创立了一整套计算交食的方法。从术文的分析可知，它的几何概念很明确，笔者在《隋唐历法中入交定日术的几何解释》[①]一文中已做了详细分析。

交食的条件是日月合朔或相望发生在黄白交点附近一定范围之内，这个范围就是食限。因此皇极历计算交食的方法第一步就是计算合朔发生在距交点有多

① 《自然科学史研究》，1983 年，第 2 卷第 4 期。



远，即计算月亮的入交定日或太阳的入会定日；又计算合朔时月亮在太阳之北还是之南，算出距黄道的度数，相当于月亮的黄纬。有了这两个量，交食的几何形象就比较清晰了。

食限是判断交食是否发生的重要依据，但是有时会发生应食不食或不应食而食的情况。对于这种情况应做何种解释，在刘焯的时代尚不清楚，但是，刘焯在皇极历中首创了改正方法，他按不同情况改变食限的大小，虽然属于经验性的改正，依现代天文学的概念来校核，也还基本符合视差的原理。

人们在地面上观看太阳月亮都有周日视差，太阳视差约 8″.80，这个数很小，对交食的影响极微，古人不予考虑。月亮的视差约有 57′，接近 1 度，它必然影响到交食的发生。视差总是使月球的视位置降低，即天顶距增大，当月亮在太阳之北时，视差使它的视位置降低，便更加靠近太阳，使交食易于发生；反之，月亮在太阳之南时，视差使它远离太阳，破坏了交食的发生。故应食不食或不应食而食的情况乃由月球视差引起[①]。周日视差在地平时最大，在天顶时为零。因此，月亮的位置越低，对交食的影响就越大。合朔时月亮与太阳的位置相近，可以用太阳的位置判断月亮的位置，显然，在夏至时太阳位置高，视差小，冬至时位置低，视差大。所以不同的季节应有不同的影响，这是一个方面。另一方面，在一天当中，正午时太阳位置最高，离正午越远位置就越低，所以不同的时刻应有不同的影响。考察刘焯皇极历中的应食不食术和不应食而食术，其改正量与节气和时角直接相关，这正是上述分析的影响交食的两个方面。

经过上两步骤的计算，可以确定某一次朔是否有食发生。接着就是第三步计算食分多少，由于视差的影响，食分的计算加进了修正量。某一次朔或望距交点越近其食分就越大，因此食分与去交辰成反比，去交辰大者食分小，去交辰小者食分大，因视差而产生的修正量可以表现在对去交辰的加减上面。对于日食，又分月在内道与外道有不同的算法。应该指出，这些修正量均属经验性的，天文意义不甚清晰。



此外，刘焯还有不同地点见食不同的思想。“因遥而蔽多，所观之地又偏，所食之时亦别”，不同的观测地点有不同的见食时间；“月居外道，此不见亏，月外之人反以为食。”不同的地点可以见到不同食分，食带之外的人不见食；“交分正等，同在南方，冬损则多，夏亏乃少。假均冬夏，早晚又殊。”由于周年变化（季节）和周日变化（早晚），月亮位置有高低，视差的影响也不同。刘焯还有日月地三者关系的几何学概念，“凡日食，月行黄道，体所映蔽，大较正交如累璧，渐减则有差。”“处南，辰体则高，居东西，傍而下视有邪正。”对于月食，“虽夜半之辰，子午相对，正隔于地，虚道

① 这里从原理上分析，至于历法本身的不准造成这些情况也是可能的。

即亏。"他感到日食是日月之体相蔽，月食时地在中间，日月正相对。

最后，还有计算交食发生的时刻，交食延续的时间等方法，对于月在内外道的不同情况，分别讨论见食的亏起方位，甚至还论及有可能带食出没的问题。皇极历创立的这一套完整的方法，成为后世诸历的模式，影响很大。唐李淳风的麟德历受其影响，其方法大体相似，可参见《麟德历交食计算法》。[①]

四、五星运动的研究

从三统历以来，就有推算行星位置的方法。那是以一个会合周期为基础，其中分成若干动态段，每一段都有各自的平均速度，一个会合周期后，又周而复始再循环下去。会合周期一般以行星早晨在东方可见为起点，为要预告某一时刻的行星位置，只要知道该时刻在某一次晨始见以后多少天就行[②]。但是我们在地球上看到的行星视运动，是行星绕日和地球绕太阳运动的合成，由于两者的绕日运动都是不均匀的，故上述平均速度的方法必然是不准确的。张子信发现太阳和行星视运动不均匀以后，隋代的皇极、大业等历法对五星运动就出现了各种改正值，力图改正平均位置和真位置之间的差别。

一种是平见时刻的改正。平见是根据平均会合周期求得某一次晨见距某一个节气多少天。因为已规定了行星晨见距太阳多少度，故可知道此时行星的黄经。皇极历按不同节气给出不同的平见改正值，由此可以算得改正值按黄经分布的情况，故而可以知道行星运动最快和最慢时的黄经，相当于给出了行星轨道的近日点和远日点。例如，木星平见的术文是：

> 平见，在春分前，以四乘去立春日；小满前，又三乘去春分日，增春分所乘者；白露后，亦四乘去寒露日；小暑，加七日；小雪前，以八乘去寒露日；冬至后，以八乘去立春日，为减，小雪至冬至减七日。



根据这段术文可以画出一条折线，表示平见日应该加减的修正值，即木星在不同黄经时的速度变化，如图 4－3。

这段术文有脱漏，因按此所画折线不连贯，其小满至小暑、小暑至白露间无数据。但大致还是可以看出，小满至小暑间为最快，小雪至冬至间为最慢。其他各行星的情况均可仿此考虑。尽管皇极历对各行星给出的改正值同实际情况有不少差别，但这是最初认识到行星在不同的位置有不同的速度。

另一种是各动态段内的速度逐日变化。刘焯皇极历以逐日增或逐日减某一公差，以等差数列求和的方法计算行星行度。造成这一现象的原因是颇为复杂的，按现

① 《自然科学史研究》，1984 年，第 3 卷第 3 期。

② 参见本书"刘歆"一节。



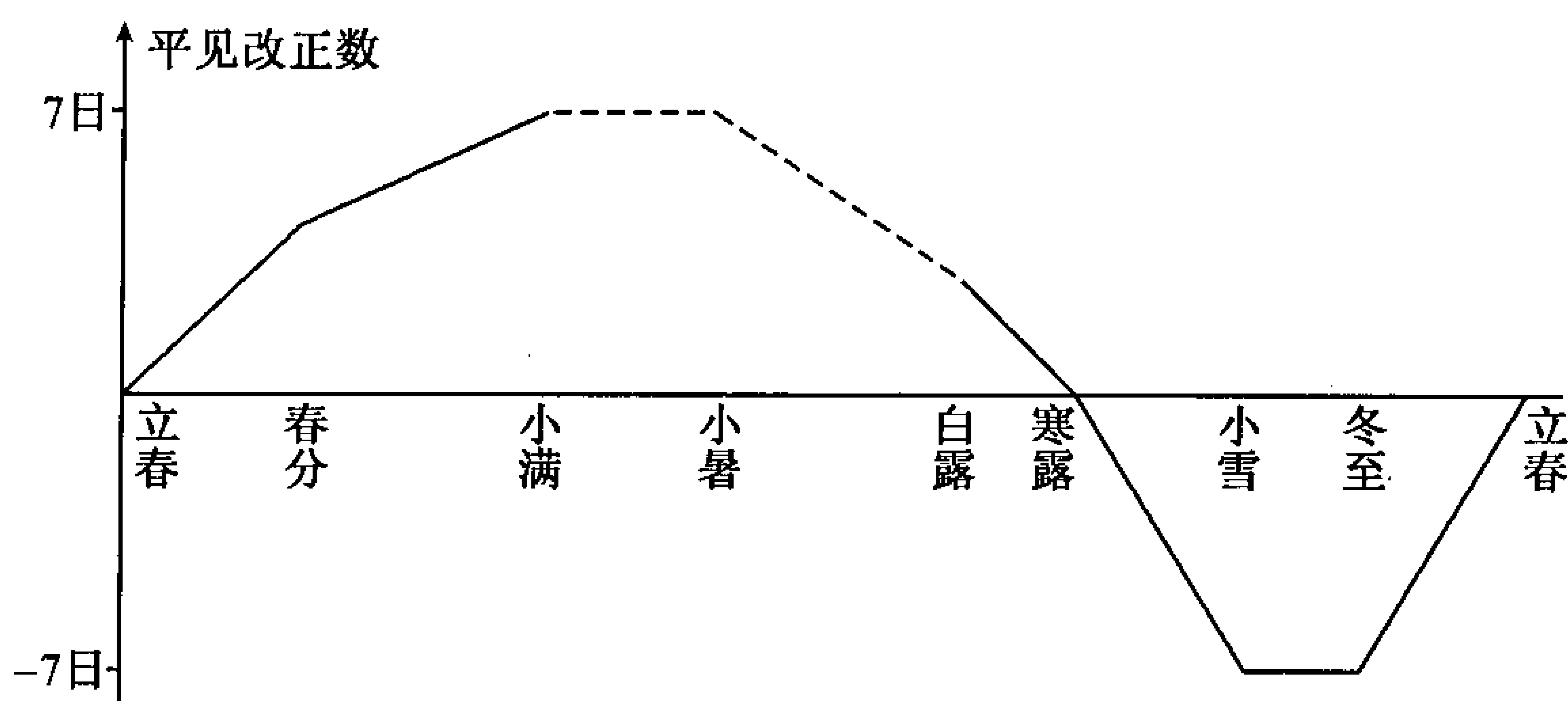


图 4—3 木星不同黄经时速度变化曲线

代天文学概念来分析，计有三种因素：第一是行星同地球处在轨道上不同的相对位置，即使两者都是匀速运动，合成起来也会造成非匀速视运动；第二是地球绕日不均匀；第三是行星本身绕日也不均匀。由于几种原因的同时作用，因而我们看到的行星视运动很复杂。分析刘焯的五星运动理论，他已考虑到行星和太阳的视运动不均匀，而且他的各动态段速度变化，基本上跟行星与地球相对位置的变化相合，这些都是符合现代天文学概念的。至于第二、三两种因素的作用，刘焯用逐日增速或逐日减速来描述行星各动态段内的速度变化，显然是一种最初的努力。但由于他的工作，后代历法对五星运动的推算有了依赖的基础。现仍以木星为例说明之。

> 见，初日行万一千八百一十八分，[日]益迟七十分，百一十日行十八度、分四万七百三十入而留。二十八日乃逆，日退六千四百三十六分，八十七日退十二度、[分]二百四。又留二十八日。初日行四千一百八十八分，日益疾七十分，百一十日亦行十八度、分四万七百三十八而伏。

初日速 11818，减速运动，每日减 70，110 日共行 18 度 40738 分，按等差数列求和公式有：

$$总行度=\frac{11818\times110-70\times(1+2+3+\cdots+109)}{46644}=18\frac{40738}{46644}$$

初日速 4188，加速运动，每日增 70，110 日共行 18 度 40738 分，同理用公式计算有：

$$总行度=\frac{4188\times110+70\times(1+2+3+\cdots+109)}{46644}=18\frac{40738}{46644}$$

逆行的 87 天仍用平均运动，计算如下：

$$6436\times87=559932(分)=12\frac{204}{46644}(度)$$

刘焯在皇极历里的创造给隋唐历法的发展奠定了基础，甚至开辟了宋元历法



的发展道路。中国历法从皇极历开始有了明显的变化,尽管这是没有行用的一部历法,但它的地位仍是不容忽视的。

五、对寸差千里之说的批判

当夏至日的中午,用八尺①之表测日影,南北相距千里之地,影长相差一寸。这种说法在汉代颇为流行。《尚书·考灵曜》、《淮南子·天文训》、《周髀算经》,甚至张衡的《灵宪》中都有这一说法。其实这是没有科学根据的,就是在上述各种书籍中也可以找到矛盾之处。例如,《淮南子》是说用一丈之表测影,《周髀算经》却用八尺之表,表高不同而寸差千里之说还相同,这本身就是值得怀疑的。但是这一说法还是未被怀疑地流传下来,许多著名天文学家都深信不疑。直至元嘉十九年(442)使人去交州测影,发现夏至日影在表南三寸二分,而阳城影长一尺五寸,相差一尺八寸二分,两地约差万里,因而何承天得出六百里而影差一寸。

何承天是一位有名的天文学家,他用实测数据否定了千里寸差之说,然而两地距离不是直接测量的结果,他也未直接批驳这一说法,刘焯才是第一个明确否定这一说法、批驳这是没有根据的人。大业元年(605)他上书隋炀帝杨广,认为日影千里差一寸,"考之算法,必为不可","明为意断,事不可依",他又举交州测影的例子说明"千里一寸,非其实差"。接着他进一步提出了用实际测量校验此说,"釐改群谬,斯正其时",使"天地无所匿其形,辰象无所逃其数,超前显圣,效象除疑"②。

他提出的方法就是在黄河南北平原之地,正南北方向相距数百里不同的地方,同日测影,准确测出两地之距离和影长,即可校验其说之谬。这是一次完整的计划,可惜未能付诸实施。



我们把此建议之提出定在605年,是因为此事当在献出皇极历(604)之后。刘焯的报告中有"既大圣之年,开平之日"的话,当指隋炀帝登基之事,文中又有"请勿以人废言"之语,因为他同张胄玄、袁充等人争论历法之得失,隋炀帝未能采用他的皇极历,刘焯罢归故里。但是他仍以探索真理为重,提出自己的大地测量方案。可惜,他的建议还是未被采纳。等到三年之后,决定让各郡测影时,正值他去世之日,这项有重要意义的大地测量计划只好等待100多年之后的一行和南宫说来完成。

关于这一问题,还应该提及李淳风,他比刘焯晚几十年,比一行又早几十年,他同意刘焯的观点,认为此事不可信。他收集了各地测影的资料,发现梁大同年间(约540)在南京的测量,夏至日影一尺一寸七分强,又找到北魏公孙崇等人永平元年(508)在洛阳的测量,夏至日影长一尺五寸八分。南京与洛阳南北约差千里,影

① 由于系汉代资料,故使用市制。下同。

② 《隋书·天文志》。



长相差四寸，李淳风得出每二百五十里就差一寸，而何承天结论是六百里差一寸，其测量差别是如此之大。他在注释《周髀算经》时批驳了千里寸差之说，认为"千里之言，固非实也。"

刘焯和李淳风虽然未能亲自实测，然而他们的思想方法和结论无疑是正确的。刘焯第一个明确批驳千里寸差说之谬，并提出以实测来校验，其开创之功自不可泯灭，也说明了刘焯不因陈守旧、勇于探索真理的精神。

六、二次差内插法

刘焯在《皇极历》里创立了等间距二次差内插法，这一方法比刘洪的一次内插精密，在中国数学发展史上有重要地位。《皇极历》里在计算定朔时对太阳运动和月亮运动都用了这一数学方法，在交食计算中考虑月亮距黄道度，日月距交点度时也都使用这一方法。唐一行在刘焯的基础上发展一步，创立不等间距二次差内插法，后来元郭守敬用了三次差内插法。中国历法中广泛应用内插法，刘焯的贡献是很重要的。现以计算太阳运动为例做出说明。

因为太阳视运动是不均匀的，每一节气间的行度不同。日躔表只给出正交节时的太阳行度。但是实际上合朔往往不发生在正交节气的时刻，而是在某一节气后的若干辰，这样就要求任意时刻的太阳行度，《皇极历》采用了二次差内插的数学方法（图 4—4）。

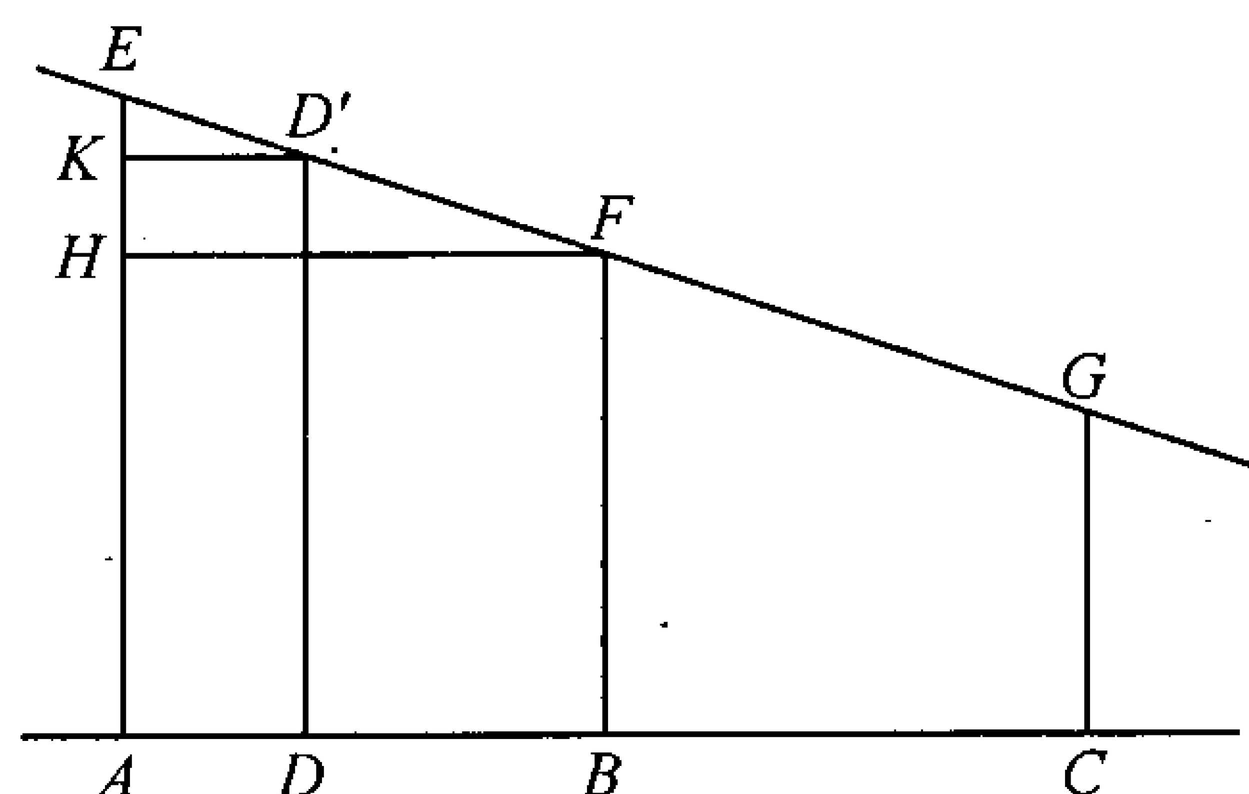


图 4—4　《皇极历躔日》二次内插示意图



设 AB、BC 为相邻两个节气，A、B 为正交节时刻，$ABFE$ 为前一节气内太阳总行度，$BCGF$ 为下一节气内太阳总行度。D 为某一次平朔的时刻，此时太阳行度当为 $ADD'E$ 的面积，现在要求的就是这个量。

令前气率 $ABFE=\Delta_1$，后气率 $BCGF=\Delta_2$，此为前多。$AB=BC=l$，为每气间的天数，是为等间距之意。据几何图形，前气末率

$$BF=\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2l}$$

前气初率 $AE=BF+EH=$ 气末率＋率差

而　率差 $EH=\frac{\Delta_1-\Delta_2}{l}$

故　气初率 $AE=\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2l}+\frac{\Delta_1-\Delta_2}{l}$

$\because ADD'E=AE\times AD-\frac{1}{2}KE\times KD'$

令　$AD=S, ADD'E=AE\times AD-\frac{1}{2}KE\cdot AD=AE\cdot S-\frac{1}{2}KE\cdot S$

又相似三角形，$\frac{KE}{EH}=\frac{KD'}{HF}=\frac{S}{l}$

$\therefore KE=\frac{S}{l}\cdot EH$

故　$ADD'E=AE\cdot S-\frac{1}{2}\cdot\frac{S}{l}\cdot EH\cdot S$

$$=\left(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2l}+\frac{\Delta_1-\Delta_2}{l}\right)\cdot S-\frac{1}{2}\frac{S^2}{l}\cdot\frac{\Delta_1-\Delta_2}{l}$$

$$=\frac{S}{l}\cdot\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}+\frac{S}{l}(\Delta_1-\Delta_2)-\frac{S^2}{2l^2}\cdot(\Delta_1-\Delta_2)$$

这就是等间距二次差内插法的公式，其几何意义由上述推导过程可以看得很清楚。

现在来看皇极历的原文：

见求所在气陟降率(Δ_1)并后气率(Δ_2)半之，以日限乘，而泛总除，得气末率。	气末率 $BF=\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2l}$ 其中 $l=\frac{\text{泛总}}{\text{日限}}$
又日限乘二率相减之残，泛总除，为总差。	总差(率差)$EH=\frac{\Delta_1-\Delta_2}{l}$
前多者，即以总差加末率，皆为初日陟降数。	气初率 $AE=$ 总差＋末率
乃日限剩日，日内辰为“入限”①，以乘其气前多之末率……日限而一，为总率。其前多者入限减泛总之残，乘总差，泛总而一为入差。	入限＝$AD\cdot$日限＝$S\cdot$日限 总率＝$\frac{\text{入限}\times\text{末率}}{\text{日限}}=S\cdot\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2l}$ 入差＝$\frac{(\text{泛总}-\text{入限})}{\text{泛总}}\times$总差



① 此处文意欠通，前人亦未校勘，似应为“乃日限乘气内辰为入限”。



并于总差，入限乘，倍日限除，(加)以总率；……皆为总数。

$$=\left(1-\frac{S\cdot \text{日限}}{\text{泛总}}\right)\cdot\frac{\Delta_1-\Delta_2}{l}$$

$$=\left(1-\frac{S}{l}\right)\cdot\frac{\Delta_1-\Delta_2}{l}$$

$$\text{总数}=(\text{入差}+\text{总差})\times\frac{\text{入限}}{2\cdot\text{日限}}+\text{总率}$$

$$=\frac{S}{2}\cdot\left[\left(1-\frac{S}{l}\right)\cdot\frac{\Delta_1-\Delta_2}{l}+\frac{\Delta_1-\Delta_2}{l}\right]+S\cdot\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2l}$$

$$=\frac{S}{l}\cdot\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}+\frac{S}{l}(\Delta_1-\Delta_2)-\frac{S^2}{2l^2}(\Delta_1-\Delta_2)$$

此即为 $ADD'E$ 的面积公式。

由此可见等间距二次差内插法的几何意义。

七、未完成之著作

刘焯除研究历法外，还对浑天说做了研究。604 年，他在呈献皇极历时，还有一篇关于浑天说的新论。据《隋书·天文志》载，这是一部已完成了理论方法的书，内容是以二至日影长度之差来论述浑天结构，可以求得某地的去极度、晷漏变化情况，还可定“天地高远、星辰运周”。正如他在皇极历中采用了新的数学方法——二次差内插法一样，可能在这部书中也采用了相应的数学方法，“所宗有本，皆有其率”。刘焯认为他的方法可以“祛今贤之巨惑，稽往哲之群疑”。只可惜，各地冬夏二至影差的数据没有测量出来，所以未能实际运算。至于刘焯的这一未完工作是个什么样子，因材料缺乏，只好书此留待以后了。



（撰稿人：刘金沂）

第二节　李淳风

一、生平简介

李淳风(602—670)是唐初著名的天文学家和数学家，岐州雍(今陕西凤翔)人。祖籍太原。父李播曾为隋朝高唐尉，后弃官为道士，颇有文才，也通天文，曾著《天

文大象赋》，是一部近似于《步天歌》之类的著作。李淳风自幼俊逸豪爽，博览群书，尤其擅长于天文历算和阴阳之学。

当他20多岁的时候（贞观初），就与傅仁钧争论历法，批评唐代的第一部历法戊寅历的疏误。他的意见得到很多人的支持，从此便被授为将仕郎，进入太史局工作。

进入太史局后不久，他就给唐太宗写了一封奏书，批评当时仍在候台使用的后魏遗留下来的候仪的缺点，提出要创制一台能够准确测定七曜行度的浑仪。他的意见得到唐朝政府的支持，贞观七年（733）浑仪造成，时称其妙。他又写了一部名为《法象志》的书，评论历代浑仪的得失之差。太宗很为满意，加封他为承务郎，并将新制的浑仪放在皇宫的凝晖阁。

贞观十五年（641），李淳风为太常博士，不久便转为太史承。这个时期，他参与编写当代史志，《晋书·天文志》、《晋书·律历志》、《隋书·天文志》、《隋书·律历志》都是李淳风所作。贞观二十二年（648）迁为太史令。

高宗显庆元年（656），他因修国史有功，而被封为昌乐县男的爵位。后又与算学博士梁述等人共注《周髀算经》、《算经十书》等多部算学经典著作。

李淳风从小就擅长星占之学，《唐书》说他“占候吉凶，合若符契”。他曾将前代各家星占汇编整理成册，定名为《乙巳占》。稍后的《开元占经》对他的这项工作做了进一步的发展。

龙朔年间（661—663），戊寅历法因行用年久，误差更加显著，他便撰麟德历，并于麟德二年得到行用。

李淳风于咸亨元年去世，享年69岁。他的儿子李谚、孙子李仙宗都曾做过唐代太史令。



二、制作浑天仪

李淳风的浑仪是在贞观七年造成的，后世人们称他造的仪器为黄道浑仪，以示区别，同时也突出了他的仪器特征和性能。

前已述及，在制造浑仪之前，他曾经给唐太宗写过一封奏折，说明要创制黄道浑仪的目的。由于七曜基本都沿黄道运行，依赤道来测量它们的行度时，既不方便，也不精通。若改以黄道来测定，就要方便和准确得多。

李淳风在研究了《虞书》“舜在璿玑玉衡以齐七政”以后，认为浑仪既然是测定七曜行度的，就必然以黄道为基准。因此他认为，先秦浑仪是黄道式的，汉以后湮没了。现在应该恢复黄道浑仪。

黄道浑仪的结构究竟如何呢？全无参考文献。《续汉书·律历志》中曾提到贾



逵制黄道铜仪的事，但毫无资料保存下来。《续汉书·律历志》在论及永元十五年造的黄道铜仪的使用情况时说："仪，黄道与度转运，难以候，是以少循其事。"可见原先贾逵等人提出的造黄道铜仪的设想是很好的，但由于黄道的安装部位没有解决好，实际使用起来是很困难的，这是不大成功的一次尝试，以后的浑仪仍然只用赤道度量。因此，李淳风的黄道浑仪，完全是自己设计出来的，是他的独立创造。

在制造浑仪之前，他曾经详细地研究过古代浑仪的结构以及它的发展历史。他所著的《法象志》，就是他从事这一研究的实录。在李淳风所作的《隋书·天文志》中，第一次详细地系统地整理和研究了我国天文仪器的发展历史。我们现在所以能够得以了解唐以前天文仪器的结构以及它们的发展历史，是与李淳风的工作分不开的。李淳风依据当时所能见到的文献资料以及实物，详细地记述了前赵光初六年(323)孔挺所造铜制浑仪和后魏永兴四年(412)由都匠解兰制造的太史候部铁仪。这两架浑仪的结构大致相似，主要由两重圆环组成。外面一重是由地平环、赤道环和子午双环组合在一起，起骨架作用，同时在赤道环和地平环上刻有度数和方位，通过它可以读出相应的天体赤纬和地平方位。里面一重由架在南北极方向上的两个平行的子午环组成，刻有度数，能沿着轴线方向自由旋转。两环之间夹着一个供观测用的窥管，窥管可以在两环间沿赤纬方向自由移动。转动双环和窥管，可以指向天球的任何一个方向。在赤道环和双环上便能读出入宿度和去极度。后世一般都将外层的称为六合环，内层的称为四游环。

关于李淳风所造浑仪的结构，虽然《法象志》早已散失，但在《乙巳占》中略有记载。在后人的著作中，《旧唐书·李淳风传》有较为详细的记载，《旧唐书·天文志》中也有简短的描述。一行在给皇帝的奏书中曾说："近秘阁郎中李淳风著《法象志》，备载黄道浑仪法，以玉衡旋规，别带日道，旁列二百四十九交，以携月游。"这一说法与《李淳风传》的记载是一致的。这就是说，李淳风的浑仪分为三重，其中六合仪和四游仪与前仪大致相似，仅在中间增加一个三辰仪，圆径八尺，有璿玑规(赤道规)、黄道规、月游规。三规都刻有宿度，相互连接，能沿极轴自由旋转。由于黄白交点是移动的，所以月游规和黄道规并不完全固定。因为大致经 249 个交点月，黄白交点沿黄道移动一周，所以李淳风便设计在黄道环上打 249 个孔。每过一个月，将白道环向前移动一个孔，就能保持黄道、白道与天相应的状态。



有了三辰仪，这就克服了东汉黄道铜仪所不能解决的困难。由于黄道与赤道结合在一起，而赤道环上又刻有二十八宿星分度，观测时只需将三辰仪的赤道环与观测时二十八宿的实际方位对准，黄道环和月游环也就自然与天球上的黄道和白道对准了。这样便可同时得到赤道、黄道、白道三种坐标的读数。

在浑仪中增加三辰仪，这是李淳风的创造。有了三辰仪，使得我国古代的浑仪

观测性能取得了划时代的进步。利用它,可以随时定出任何观测时刻的黄道、白道方位,从而也就可以很方便地确定任何一个天体的赤道、黄道、白道坐标,以及它们之间的相互关系。对浑仪的革新,是李淳风在天文学上的主要贡献之一。以后一行、梁令瓒等新造浑仪,莫不遵用他的方法。

三、创制麟德历

唐高祖李渊夺取政权以后,即命令制定新的历法。东都道士傅仁钧依隋大业历为法,增损数据,并第一次在历法中改用定朔。武德二年(619)即得颁行。因高祖戊寅年(618)接帝位,所以定名为戊寅历。

戊寅历较为粗疏,推交食法不大准确,颁行后第二年预报的二次月食即不应验,受到算历博士王孝通的批评。不过,他指责戊寅历使用岁差和定朔,是没有道理的。武德九年,大理卿崔善为奉诏校正历法,做了数十条改革。戊寅历原来不用上元积年,经这次校订以后,又恢复了上元积年。

李淳风的政治生涯和学术生涯,是从与傅仁钧争论历法开始的。据《新唐书·李淳风传》记载:“贞观初,与傅仁钧争历法,议者多附淳风,故以将仕郎直太史局。”《新唐书·历志》也说:“李淳风又上疏论十有八事,复诏善为课二家得失,其七条改从淳风。”

贞观十四年,唐太宗李世民要在冬至日到南郊祭祀,但发现戊寅历为二日冬至,而淳风新历为甲子合朔冬至。国子祭酒孔颖达等及尚书八座参议都支持淳风的历法。

贞观十八年,李淳风又上书指出戊寅历在贞观十九年九月后有四个频大月的问题。各家议论纷纷,最后又只得改用平朔。



这里所说的“新历”,大约是指李淳风青年时编制的以乙巳为历元的历法,此历大约载在《乙巳占》卷一中。他自以为“近造乙巳元历术实为绝妙之极”,“诸法皆同一母,以通众术。”可见他后来所造的麟德历,是以此“新历”为基础的。

龙朔年间,他已经是一位在学术界很有声望的老人了。他发现戊寅历与天象越来越不相符,便撰甲子元历奏之。“术者称其精密”,“候者推为最密”。于麟德二年得以颁行,故名麟德历。

麟德历在计算方法上有很多依据刘焯的皇极历。皇极历是众所公认的具有很多创新的杰作,可惜为张胄玄等人所排斥,未能行用。李淳风能将他的先进方法采为己用,这是很可取的。其中主要的是引进太阳的不均匀运动、定朔法,以及创用二次差内插法推算太阳月亮的不均匀运动。

对于月亮的不均匀运动的推算,早在东汉末的刘洪乾象历中就有记载,再依据



月离表用线性内插求得相对于月亮平均运动的改正数。为了更精密地计算日月的运动，刘焯才创立二次差内插法。具体算法如下：

①计算因月行速度不等而引起的校正数：

$$S=A_{n+1}+a\times\frac{\delta_{n+1}+\delta_{n+2}}{2}+a\times(\delta_{n+1}-\delta_{n+2})-\frac{a^2}{2}\times(\delta_{n+1}-\delta_{n+2})$$

其中 n 表示月亮从近地点到平朔的整数日，a 为余下的不足一天的时间，δ_n 是第 n 日的加减数，A_n 为从月近地点以来各日加减数的总和，称为盈缩积。为了计算方便，表中这两个数都已将度化成了时间单位。

②计算因日行速度不等而引起的校正数：

$$T=T_0+\frac{t}{l}\times\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}+\frac{t}{l}(\Delta_1-\Delta_2)-\frac{t^2}{2l^2}(\Delta_1-\Delta_2)$$

其中 t 为该平朔所在节气的交气时刻至平朔时刻的时间间隔，l 为一气的时间长度，$\Delta_1-\Delta_2$ 为相邻两气的朓降率，为一个气内太阳实行与平行之差，除以月亮每日平行所得的商数。T_0 为冬至以来到这个气的朓降率之和，称做迟速数。

以平朔时刻与 S 和 T 相加减，便得定朔时刻。

刘焯创立的定朔计算方法，在数学上和历法上可算是一项杰出的成就，但在皇极历的应用上尚存在若干缺点，在麟德历中都一一做了改正。对于麟德历应用二次差内插法计算定朔的价值和意义，李善兰在《麟德历解序》中曾经给以恰当的评价①：

> 元郭太史授时术，中法号最密，其平、立、定三差，学算者皆推为创获。不知麟德术盈朓迟速二法，已暗寓平、定二差于其中。郭氏特踵事加密耳。窃谓仅加立差犹未也，必要合天，当再加三乘四乘诸差，后世有好学深思之士，试取我说而演之，其密合当不在西人本论均轮椭圆诸术下，而李氏实开其端，创始之功，又何可密也。

李善兰所说的实际是指英国数学家格列高里于 1670 年提出的求任何高次差数的内插法公式。我国从刘焯、李淳风起，就将这种方法应用于实际，开创之功是不可埋没的。

李淳风对他自己创制的麟德历最为得意的部分，要算是将历法中各种单位采取统一的分母了，自称为“绝妙之极”。后世历家也各称“立法巧捷，胜于前人”，莫不从之。麟德历设 1340 为总法，为岁实、朔实、交周、五星的共同分母。各种周期都统一化成分计算，与其他历法相比，运算起来要简捷得多。

麟德历的另一个创举是破除自古以来的章蔀纪元的方法，废闰周而直接以无



① 见《则古昔斋算学》。

中气之月定闰月。在发明二十四节气之前的中国古代的历法中，闰月都是按一定的闰周排定的。四分历以19年为一章，在一章中，设7个闰月，此19年就是闰周。在南北朝的历法中，都各有自己的闰周。然而，闰周只能决定哪一年为闰年，却不能确定闰在何月。故西汉太初历做出“以无中气之月为闰月”的规定。以后的各家历法都沿用这一规则。但却保留既定的章蔀纪元，以闰周定闰月的制度。这两套制度是重复的，闰周和章蔀纪元的制度便成为不必要的形式主义的东西。然而，由于各家学派斗争激烈，要想做出改革却不是轻而易举的事情，需要有远见、胆略和威望，李淳风毅然决定废除章蔀纪元，也是历法史上的一项重要革新。

皇极历的一个重要进步是将张子信发现的日行盈缩的规律应用于具体历法的推算。皇极历未能得到行用，麟德历将它介绍进来，也是一项重要改革。由于月亮和五星的运动方位都受到太阳运动的影响，引进日行盈缩的计算，将大大提高日月五星方位推算的精度，术家都称麟德历精密，确实是以实际检验为依据的。

麟德历给出以二十四节气为间隔的日行盈缩数表，第一行躔差率，皇极历名为躔衰，大衍历为盈缩分，为以分数表示的日实行与平行的差数。除以分母1340，便是实行与平行的度数差。第二行消息总，皇极历名为衰总，大衍历叫先后数，为从冬至开始到某节气为止各节气的盈缩分之和。第三行先后率，皇极历称为陟降率；大衍历为损益率，它为盈缩分除以月亮日平行度的商数，是专门为推算月亮迟速运动而设立的。第四行盈朒积，皇极历称为迟速数，大衍历为朓朒积，是从冬至到所求节气为止各节气损益率之和。这些数据都是从日行盈缩推衍出来的。



关于皇极历、麟德历所用日行盈缩的数据，一行在大衍历日躔盈缩略例中批评说：“至刘焯，立盈缩躔衰术，与四象升降。麟德历因之。焯术于春分前一日最急，后一日最舒；秋分前一日最舒，后一日最急。舒急同于二至，而中间一日平行。其说非是。”

这段批评意见常为后人所引用，但其真实的含义却往往没有得到正确的理解。现将麟德历、大衍历的盈缩分、先后数化成度数表示，对比如表4—3所列。

麟德历日躔表中所列数据有部分错误，已做了校正。必须指出的是《隋书·律历志》和《唐书·律历志》中所载麟德历和皇极历日躔表中的躔差率，在夏至到大雪部分的损益符号是错误的。由于历法中规定任一节气的消息总都等于前一节气的消息总与躔差率之和，可见不是测量错误，也不是历法本身的理论和计算有问题，而只是传抄的错误。在本表中已做了改正。



表 4—3　麟德历、大衍历日行盈缩数据对比表

节气名	盈缩分(单位度)		先后数(单位度)	
	麟德	大衍	麟德	大衍
冬至	+0.54	0.77	0	0
小寒	+0.46	+0.61	+0.54	+0.77
大寒	+0.38	+0.46	+1.00	+1.38
立春	+0.38	+0.32	+1.38	+1.84
雨水	+0.46	+0.19	+1.77	+2.16
惊蛰	+0.54	+0.07	+2.23	+2.35
春分	−0.54	−0.07	+2.77	+2.42
清明	−0.46	−0.19	+2.23	+2.35
谷雨	−0.38	−0.32	+1.69	+2.16
立夏	−0.38	−0.46	+1.38	+1.84
小满	−0.46	−0.61	+1.00	+1.38
芒种	−0.54	−0.77	+0.54	+0.77
夏至	−0.54	−0.77	0	0
小暑	−0.46	−0.61	−0.54	−0.84
大暑	−0.38	−0.46	−1.00	−1.38
立秋	−0.38	−0.32	−1.38	−1.77
处暑	−0.46	−0.19	−1.77	−2.16
白露	−0.54	−0.07	−2.23	−2.35
秋分	+0.54	+0.07	−2.77	−2.42
寒露	+0.46	+0.19	−2.23	−2.35
霜降	+0.38	+0.32	−1.69	−2.16
立冬	+0.38	+0.46	−1.38	−1.84
小雪	+0.46	+0.61	−1.00	−1.38
大雪	+0.54	+0.77	−0.54	0.77



日躔表的数值是如何取得的呢？是选定一个基点以后分别测量取得的。因此，日躔表中直接得到的是消息总的数值，相邻两消息总的数值相加减，便得到躔

差率的损益数值。从麟德历消息总中各节气的数值变化趋势来看，它与大衍历是基本一致的：这就是冬至、夏至时为零；冬至到夏至期间，太阳的实际方位都在平均方位以后，但以秋分差数最大。这些相似之点足以说明，在麟德历考虑到日行盈缩以后求得的太阳、月亮、五星方位，肯定要比不考虑日行盈缩准确得多。

麟德历的躔差率确实如一行所说，在二分二至时都达到极大。对于冬夏至来说，是大致正确的；对于春秋分来说，是不正确的，应是达到最小。日躔的速度变化，不成连续的平滑曲线，而是跳跃式的，因此是不合理的。这些跳跃式的变化数据，是由于对各个消息总的数据测得较为粗略有关，特别是春秋分时的数值测得不大准确造成的。正是这些不大准确的数据，令人信服地证实了我国古代天文学上新的发现和所取得的进步，都是独立完成的，具有一条由粗到精由不合理到合理的发展线索可循。

皇极历和麟德历实际所测得的日行最速点在冬至，当时实际的最速点在冬至前 10 度，误差是不算大的。日行最速点在冬至的观测结果，一直沿用到明末亦未变。

麟德历也沿用皇极历中推算五星运动的先进方法，它不但首次考虑到日行盈缩的影响；而且也第一次在历法计算中考虑到五星的不均匀运动的问题；由于黄道与地平的交角随着季节的变化而不同，也就直接影响了五星初见去日度的大小，在麟德历中，也给出了各个不同季节初见去日度的改正数值。这三项改进，使得推算出的五星行度比前历要精密得多。

麟德历按平均运动推得的五星位置称之为平见日；加上因行星本身不均匀运动而产生的改正值以后称之为常见日；再与太阳的盈缩数相加减，称之为定见日。



在麟德历中，分别给出了各个行星的近地点位置和在各个季节的加减日数。举例说，麟德历所测木星近地点在春分。据《中国天文学史》所做的推算，与当时木星实际近地点位置仅有 7 度的误差。而皇极历和大业历都定在立春附近，误差达 30 度以上。可见麟德历不仅使用了皇极历创立的五星运动的先进计算方法，而且在数据上又有了大的改进。

早在西汉时，人们就已开始创立月行迟疾的粗略计算方法，至刘洪时正式应用于历法之中。何承天曾想以定朔安排历日，受到皮延宗的反对而作罢。后刘焯用定朔而历未得到行用。唐初傅仁钧才正式试用定朔。因贞观十九年出现四个连大月，受到保守势力的反对而再次失败。麟德历再次改用定朔，为了吸取前人失败的教训，规定“凡置月朔盈朒之极，不过频三。”立进朔法，即以小余 24 为限，小余在 1316 以上进为大月，小余在 24 以下减为小月，迁就解决四大三小的问题。以后诸历都沿用进朔法，直到授时历才废除这种避免四大三小的规定。从麟德历开始，定



朔法才在我国历日制度中扎下了稳固的基础。从何承天以来200多年间关于用定朔平朔的争论，才以定朔法的胜利而宣告结束。

麟德历不用岁差，这是它的缺点。李淳风和王孝通都是不承认有岁差的。李淳风大约专门写过一篇否定存在岁差的文章，此文虽然没有流传下来，但在《大衍历仪·日度议》中却多处引用了他的观点。他反对有岁差的主要依据有二：太初历载冬至日在建星，建星在斗十三四度间，而李淳风所测冬至日在斗13度，与太初历无差，此无岁差之一证；《吕氏春秋》曾载“黄帝以仲春乙卯，日在奎，始奏12钟，命之曰咸池。”今春分日在奎，黄帝至唐初3000余年冬至日所在位置不变，此是无岁差之又一证据。李淳风所引这两条数据都是不严密的，《日度议》已做了详细的批驳，这里就不再重复了。

总之，麟德历是一部很著名的历法，被列为唐代三大名历之一，在中国历法史上，也占有重要地位。它不但用数精密，而且在计算方法上也有许多创造发明。《旧唐书·历志》说：“近代精数者，皆以淳风、一行之法，历千古而无差。后人更之，要立异耳，无逾其精密也。”可见唐宋时人们对麟德历的评价是很高的。

四、《天文志》《律历志》的成就

李淳风因参与编修《晋书·天文志》《晋书·律历志》和《隋书·天文志》《隋书·律历志》而立功，被封为昌乐县男的爵位。《明史·天文志》开卷就说：“论者谓《天文志》首推晋隋。”可见李淳风所撰《天文志》的成就，在历代史志中是首屈一指的。

自司马迁写《天官书》，载天文星官、五星凌犯及天文星占诸事，实开历代正史《天文志》之先河。两汉书《天文志》无甚创新，至《晋书·天文志》为之一变，除包括传统的内容以外，还包括天体理论、仪象、盖图、地中、晷影、漏刻等天文理论和观测的内容，这就大大加强了它的科学内容和涉及的范围，对于天文学的发展起到了直接的促进作用。



必须指出，在李淳风撰写《晋书·天文志》以前，沈约已著有《宋书·天文志》，其中就有论天三家及观测仪器的简略记载，李淳风应是受到它的启发和影响的。但是，从内容和所引文献来说，《晋》《隋》“天文志”要比它丰富得多，天文学的水平也要高些。

《晋书·天文志》可算是我国古代第一部较详细地研究我国古代天文学史的综合性的著作。《隋书·天文志》又进一步补充了《晋书·天文志》缺漏的文献，达到了较为完备的程度。我们今天能够较完整地阅读到我国上古天文史料，是与李淳风的工作分不开的。

《晋》《隋》“天文志”不但详载有我国上古时代三个主要论天学派的主要观点，介绍了他们的主要代表著作及其发展历史，而且也简要地介绍了魏晋时形成的虞喜安天论、虞耸穹天论、姚信昕天论三家次要的学说。这对于研究我国古代宇宙理论的发展历史有很重要的意义。

在《晋》《隋》“天文志”中，也详载浑天仪、浑天象的产生和发展历史，记载了它的理论和结构，各种仪器的尺寸和大小，以及它们的部件和性能。正因为他对历史上的浑仪做过详细研究，才能创造出他自己的杰作黄道浑仪。

在两汉时代，出现观测地南北相距千里而夏至日影差一寸的理论，是依盖天说为基础的。这是一种仅凭想象而并未经过实测和验证的错误理论。尽管如此，直至魏晋南北朝时代，仍然有许多浑天家相信这种错误的理论，并以此为依据，推算日高和天球的半径。李淳风引载刘宋何承天所测阳城、交州两地影差一尺八寸二分，而相距万里，实得影差仅六百里差一寸。又据梁代实测金陵夏至日影一尺一寸七分，而后魏信都芳在洛阳测得为一尺五寸八分，可推得千里影差四寸。从而彻底批判了影长千里差一寸之说的虚妄。经过李淳风用具体数据予以批驳，这种错误理论才发生动摇。

《隋书·天文志》所载漏刻，也是系统地研究自周代以来昼夜时制和漏刻发展历史的重要文献，很值得重视。

《晋》《隋》“天文志”中所载全天星座，从体例上来说，与《天官书》等无多大出入，但其星数星官数却有了很大增加，大致是依陈卓整理后的三家星官为依据。《晋》《隋》“天文志”给出了各个星官的星数和方位，比《天官书》等要详细得多。从这点来说，又与他的另一项重要著作《乙巳占》有着密切的联系。



（撰稿人：陈久金）

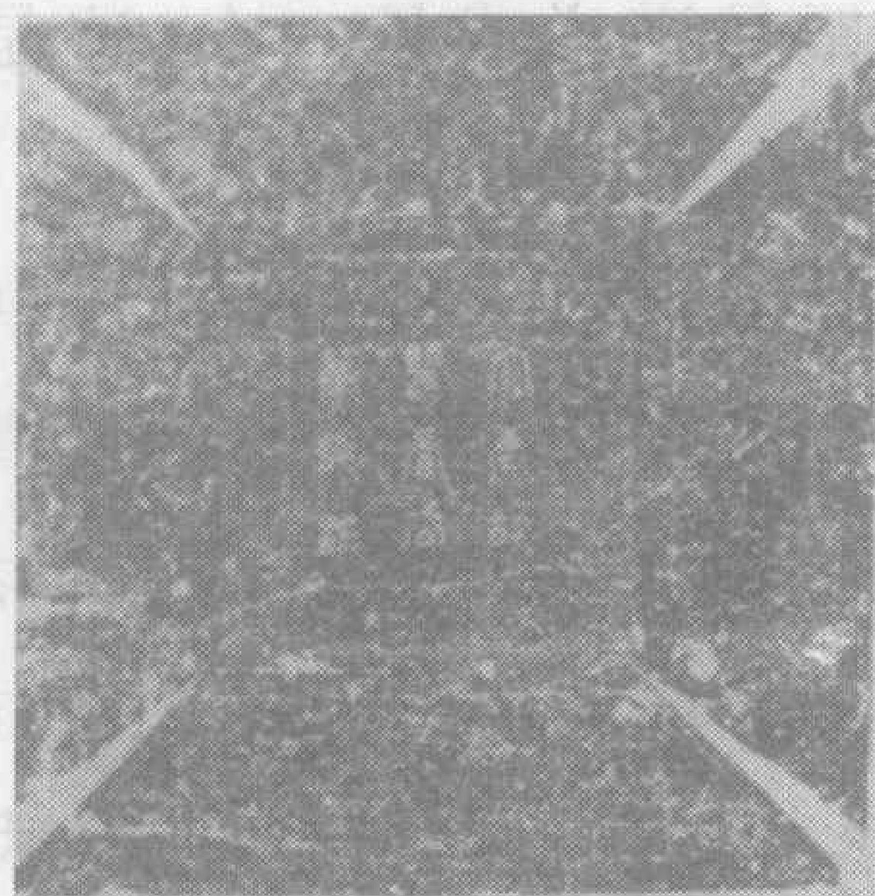
第三节　瞿昙悉达家族

一、四代服务于唐太史监的天文世家

在《旧唐书·历志》《新唐书·历志》中，载有天文学家瞿昙罗和瞿昙悉达的天文工作；《旧唐书·天文志》则载有瞿昙譔的数次奏议；在《新唐书·艺文志》中，引有瞿昙谦著《大唐甲子元辰历》的篇名；郑樵《通志·氏族略·诸方复姓》也载有司天台冬官正瞿昙晏的名字。瞿昙罗、瞿昙悉达、瞿昙谦三人，在《畴人传》中都列有传。五代时王朴把瞿昙悉达称作天竺胡僧，《通志》也把瞿昙譔称作天竺人，并不知



他们之间的关系。近代学者把唐代这批姓瞿昙的天文学家都称之为印度僧人[①]。由于缺乏文献，他们之间的关系则无人论及。1977 年 5 月，在陕西长安县北田村发现了瞿昙譔的墓志（图 4—5），这才搞清了他们之间的关系[②]。



（一） 墓志盖

（二） 墓志铭

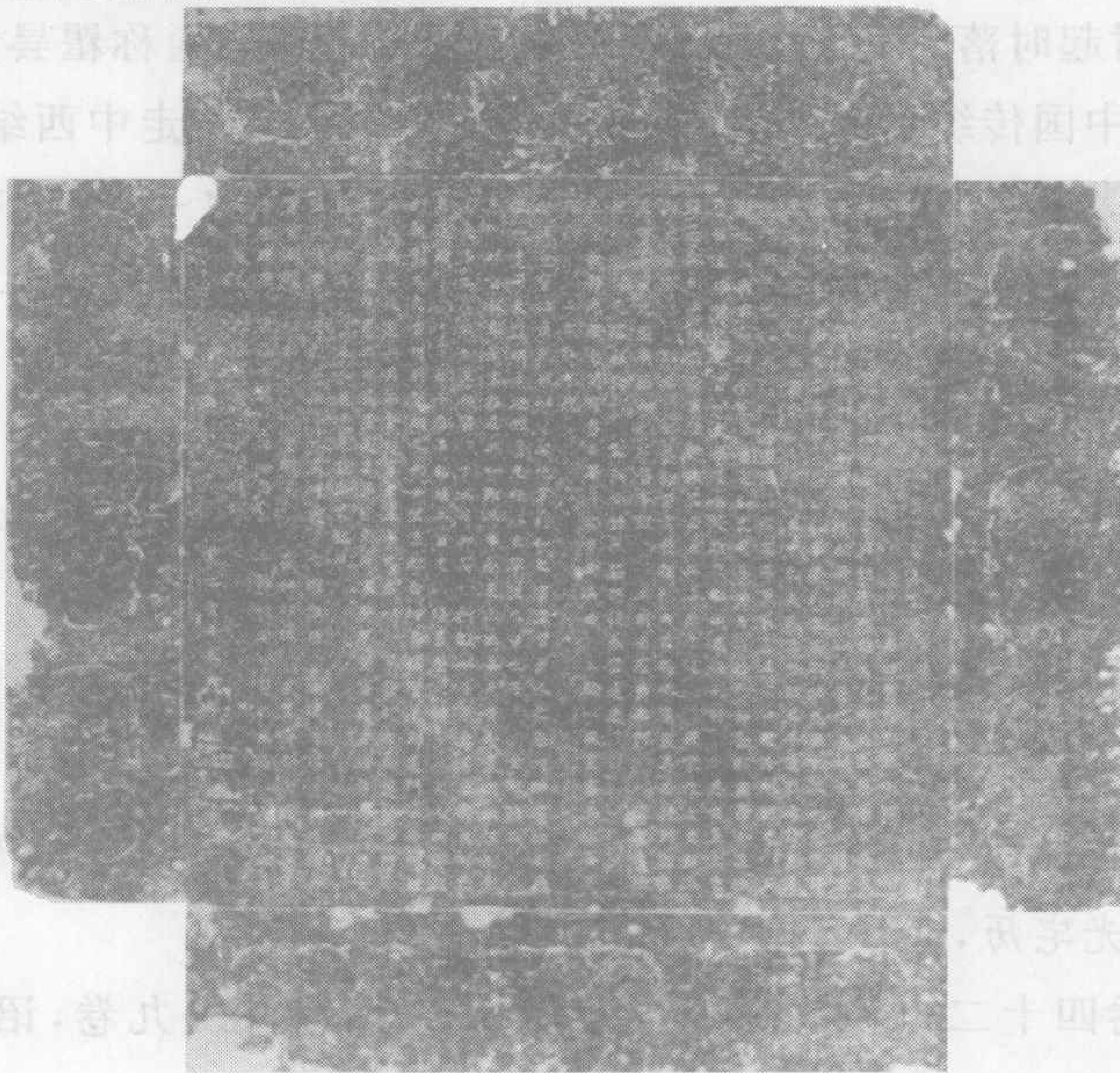


图 4—5 瞿昙譔墓志铭

从署名为屯田员外郎张翊的这篇墓志可以看出，被称作瞿昙氏的这批唐朝天文学家，原来都是一家人。其血统关系如下：瞿昙逸生瞿昙罗，瞿昙罗生瞿昙悉达，瞿昙悉达生瞿昙譔（第四子），瞿昙譔生瞿昙晏。瞿昙譔生子六人：昪、昇、昱、晃、晏、昂。从目前掌握的文献可知，这一天文世家的最晚一代为瞿昙晏，是瞿昙譔的第五子，在司天台担任过冬官正的职务。从瞿昙譔六个儿子名字的排列方式可知，

① 李约瑟：《中国科学技术史·天学》。

② 晁华山：《唐代天文学家瞿昙譔墓的发现》，《文物》，1978 年第 10 期。



他们早已采用汉族的风俗习惯，一律取曰字头的字命名。由此可知，制定《大唐甲子元辰历》的瞿昙谦，与瞿昙譔共以言字旁取名，应是瞿昙譔的兄弟。《玉海》载瞿昙谦曾做过九卿之一的副手宗正丞，这是一个相当重要的官职，但据墓志记载，瞿昙譔并未做过这个官，所以有人把瞿昙譔和瞿昙谦说成是一人，这是不正确的。瞿昙氏"世为京兆人"，何代移居长安，大约连瞿昙譔也说不清楚了[①]。不过，墓志记其曾祖瞿昙逸的生平时，说其高道不仕，看来瞿昙逸也可能是出生在中国的。因此，大约早在南北朝时，其祖先就已移居中国了。后魏时（386—557）瞿昙般若和瞿昙流支曾合译印度佛经《唯识论》，这两个姓瞿昙的人不知是否与瞿昙悉达家族有关。

瞿昙罗、瞿昙悉达、瞿昙譔曾三代担任过唐朝太史令、太史监、司天监，领导和主持唐朝官方的天文机构。从 665 年起，到 776 年止，历经高宗、武则天、中宗、玄宗、肃宗等朝，时起时落，先后达 110 年以上。他们在唐代通称瞿昙监，擅长印度天文历算，也精通中国传统的天文学，代表着主张中国天文学走中西结合道路的一个学派，很有实力。冬官正瞿昙晏也是司天台的重要官员之一，大约在代宗、德宗时代，那就与曹士蒍制造符天历相衔接了。

二、瞿昙罗和瞿昙譔的天文工作

瞿昙罗约生于唐太宗贞观初年。关于他的天文工作，在《新唐书·历志二》中有如下二条记载：

> 高宗时……淳风作甲子元历以献。诏太史起麟德二年颁用，谓之麟德历……当时以为密，与太史令瞿昙罗所上经纬历参行。
>
> 是岁（神功元年），甲子南至，改元圣历，命瞿昙罗作光宅历，将用之。三年，罢作光宅历，复行夏时。



《唐会要》卷四十二也说："太史瞿昙罗上《经纬历法》九卷，诏令与麟德历相参行。"

据《新唐书》两条记载可以推知，早在 665 年以前，瞿昙罗就已担任太史令，这时戊寅历预报天象不准，瞿昙罗作经纬历，提请唐朝政府使用。在尚未做出决定之际，李淳风也于高宗麟德二年（665）作麟德历献上。当时李淳风早已是著名的天文学家，麟德历也确实做出了许多进步的改革，较为精密，所以唐朝政府决定以麟德历为本，同时参用经纬历。

由于没有文献流传下来，所以无从得知经纬历的内容。不过既然被正式批准为与麟德历参用，就必然具有一定的优点和可取之处。从瞿昙罗的出身和经纬历

① 《墓志铭》只是笼统地说："发源起祚，本自中天。"



名称的意义来看，它大约是一部中西结合的历法，推算方法与中国传统的方法不同，所以才有参考的价值。同时，它有可能引进了西方系统的黄经黄纬的概念，所以称为经纬历。这是天文学上的经纬概念在中国的第一次出现。

武则天圣历元年(698)，瞿昙罗受命制作光宅历。这时瞿昙罗已经做了34年以上的太史令，在天文学上已经相当成熟了。受命改订历法，也说明了他已有相当高的威望。新历尚未完成，武则天出于政治上的考虑，决定废止改历。因此，瞿昙罗编订的两部历法都未能得以颁行。光宅历也未能保留下来。不过，光宅是武则天执政后的第一个年号，似乎不应作为圣历元年改历时的历名，这里存在矛盾。较为合理的解释是，它以武则天开始执政的那年作为截元。

《旧唐书·历志》说："天后时瞿昙罗作光宅历，中宗时南宫说造景龙历，皆旧法之所弃者，复取用之。徒云革易，宁造深微，寻亦不行。"这段议论，基本上代表了瞿昙监对立派的批评意见。因此，是较片面的。"其术有黄道而无赤道，推五星先步定合"[①]，大约是光宅历和神龙历的共同特点。南宫说也是唐代较有影响的天文学家，他可能与瞿昙学派较为接近，从而受到印度天文学的影响。他所造神龙历(705)的基本数据仅被引载在《开元占经》中才得以保留下来。《畴人传》评曰："此则用积年而不用日法也。小分奇余，并以百为母，入算省约，五代万分术法，盖出于此矣。"《历法通志》评曰："神龙所测各数，皆甚密近，惟朔策独疏耳。"都给神龙历以较高的评价，对废日法、创万分为母评价尤高。可见《旧唐书·历志》的倾向性是很明显的。惟"徒云革易，宁造深微"八个字的评论，却透露出光宅历对传统历法做出了较大的变革，不能为传统的历法家所接受。

瞿昙罗大约死于7世纪末。《旧唐书·天文志下》有久视元年(700)至长安二年(702)改太史局为浑天监，以术士尚献辅统领的记载。这时可能正逢瞿昙罗去世，瞿昙悉达还年轻，所以有此决定。



由于瞿昙譔(712—776)墓志的发现，对于他的天文工作就知道得较为详细了。瞿昙譔青年时就以通晓天文历算闻名，但他的做官生涯，却是从武举及第开始的。由于他通晓天算，不久便被调到太史局工作。因与历官陈玄景联名上诉大衍历剽窃九执历成果，而受到调离太史局的处分，直到肃宗接位(756)后才调回任秋官正。

瞿昙譔在任秋官正期间，兼管历法和筮占，以星占预言政治。当时正逢安史之乱，统治者很注重星占。762年任司天少监，至765年升任司天监，直至776年去世。

杨景风在代宗广德二年(764)注不空《宿曜经》时说："凡欲知五星所在者，天竺

① 《新唐书·历志二》。

历术推知何宿，具知也。今有迦叶氏、瞿昙氏、拘摩罗等三家天竺历，并掌在太史阁。然今之用，多瞿昙氏历，与本术相参供奉耳。”杨景风是当时的主要历官之一，他的话应是可靠的。所谓瞿昙氏历，大约就是指瞿昙罗编制的经纬历和光宅历，瞿昙悉达编译的九执历。看来，瞿昙氏在唐代官方天文机构中的影响，要远比人们所想象的深远。

三、《开元占经》的编撰及其成就

瞿昙悉达生卒年代不详。据《开元占经》记载，他于睿宗景云三年(712)奉敕主持修复后魏晁崇于永兴四年(412)制造的铁浑仪，这时他已担任银青光禄大夫行太史监的官，正逢第四子瞿昙谦诞生。因此，可能在此之前，他早就担任太史监的官职了。据《新唐书・历志四下》记载，瞿昙悉达于开元六年(718)奉敕翻译《九执历》。《开元占经》也是他奉敕编撰的，编撰时间不详，其中载有“见行麟德历”和“神龙历”以前所有历法的积年日法，但未提及大衍历。大衍历颁行于开元十七年(729)，可见其成书年代在开元六年(718)至开元十六年(728)之间，故称《开元占经》。据《唐会要》，开元十二年(724)南宫说已任太史监，这时瞿昙悉达可能已去世。开元二十一年(733)，瞿昙谦、陈玄景等控告大衍历剽窃九执历的成果，事未涉及瞿昙悉达，证明当时他已去世。由此可推得其卒年大约在公元719年至723年之间。

《开元占经》署名为瞿昙悉达等奉敕修撰，因此，其内容除《九执历》外，是在太史令瞿昙悉达领导之下由太史监的工作人员集体完成的。《开元占经》共一百二十卷[①]，约60万字，杂采自上古以来各家天文星占等书达300余种，辑录汇编而成。清勤志馆墨格抄本卷首列有引用书目。编撰《开元占经》的主要目的自然是为星占服务的，但其所包括的内容却大大超出了星占所需要的范围。它实际是探索我国上古天文学的一座重要宝库，为保存我国上古天文资料做出了无可估量的贡献。现择要介绍如下：



(1)汇编了各家星占的原始文献，包括天地日月五星二十八宿的占文。星占的本身是属于伪科学，但上古天文学往往都与占星术交织在一起，天文学往往寓于占星术之中。由占星术可以推知当时天文学的发展水平。由于星占的需要，促使人们去观察天象，认识星座，观测它们的方位；观察和探讨日月五星运动和交食的周期，观察这些天体运动速度及其方位的变化，由此促进了天文学的发展。中国古代的天象记录，都与星占有着密切的关系。它为古代天象记录提供了丰富的源泉。

---

① 《新唐书・艺文志》载一百一十卷，《玉海》引同。有人由此推断后10卷为后人以杂占增附。我以为此说根据不足，有可能是传写之误。



(2)保存了中国最古老的恒星方位的观测记录。它系统地记载了中国二十八宿古今距度的不同数值,为研究中国上古二十八宿分度的起源提供了十分珍贵的资料。它是保存《石氏星经》121颗恒星赤道坐标的唯一文献,使得世界上最古老的星表能够得以保留到今天。

(3)系统地记录了甘、石、巫咸三家星表的星名和星数,为人们具体认识三家星表提供了最详细的资料。

(4)系统地辑录了中国古代各天文学家对于宇宙结构及其运动的理论,为我们研究古代宇宙理论提供了方便的条件。

(5)系统地记载了从中国有史以来直至神龙历所有历法的上元积年、日法及其他主要天文数据,为研究中国古代历法提供了一份十分珍贵的历史文献,对于古六历和神龙历等,这都是唯一的资料。

(6)系统地记载了麟德历的全部内容,由此可以校正新旧《唐书》所载麟德历的错误,同时也补足了推入食限术、月食所在辰术、日月食分术等未载的部分,使得麟德历的文献得以完备无缺。

(7)载入《九执历》,使它能保留到今天,不但为研究古代中印文化交流提供了珍贵的资料,同时也为研究印度天文学史提供了一份难得的历史文献。

(8)辑录了大量的上古文献资料,而这些著作后来都大部失传了。很多古代文献,都只能通过它得知其大概的内容。其中以古纬书的资料尤其珍贵。《隋书·艺文志》称纬书81篇,《开元占经》所引纬书竟达70余种。古纬书现今几乎全部散失。《四库全书简明目录》说:在《开元占经》中,"隋志著录纬书,尚十存其七八,皆孙瑴《古微书》所未见。"[①]纬书中往往载有十分先进的科学思想,《开元占经》大量保存纬书的内容,这也是一项重要贡献。



由于此书是用于星占的,唐朝政府恐其流传出去于己不利,一直严加控制,作为秘本,严禁在社会上流传。至宋代时大约已经失传,所以宋元明"巨公皆未之见,即南北灵台,亦无藏本。"[②]直到明万历四十四年(1616),才由安徽歙县道士程明善从古佛腹中发现。随即刊刻出来,才得以在社会上流传。目前所见各种版本《开元占经》的跋文有三种:有万历四十四年程明善的跋,有万历四十五年张一熙的跋,以及万历四十五年程明哲(程明善兄)的跋,跋文内容均大同小异。可见在发现之后3年内即已刊刻过3次,但均已绝版,在中国国家图书馆仅藏有一部载有程明善跋文的抄本。清初则有一部载有御制序文的抄本,大约是康熙的手笔。现今较为流行的道光版和四库版,都刊用张一熙的识语。

① 此《古微书》为明朝孙瑴所辑录。

② 见四库本卷首张一熙《识语》。

四、编译《九执历》

《新唐书·历志四下》说："九执历者，出于西域。开元六年(718)，诏太史监瞿昙悉达译之。"以下还略载九执历的基本法数和评论。《九执历》的全文，后被收入《开元占经》中。又据《唐会要》四十二载："洎十五年(727)，一行定草，诏说成之。因编以勒成一部：经章十卷，长历五卷，历议十卷，立成法天竺九执历二卷，古今历书二十四卷，略例奏章一卷，凡五十二卷。"因此，瞿昙悉达除编译《九执历》以外，还编算了《九执历立成算法》二卷，附载在张说、陈玄景等人据一行的历草编成的书中。由此可见九执历与大衍历之间的密切关系。唐朝政府命令翻译《九执历》的目的，也是想要从多方面探讨准确预报交食的方法。《九执历》主要用于预推交食，在当时预报交食时曾参照使用[①]。

《九执历》比较难读。《唐书·历志》说其"名数诡异，初莫之辨也。"这种批评虽然片面，但也有一定的道理。由于经过多次传抄，错误很多，更增加了阅读的困难。清顾观光曾作《九执历解》[②]，就其历理做了探讨，对了解九执历很有帮助。清朝对《九执历》做过几次校勘，但只有徐有壬的工作做得较好，可惜没有刊印，手稿也流落到日本[③]。最近我们已对它重新做了校注和标点[④]。现就若干有关问题探讨如下。

1. 瞿昙悉达是《九执历》的编撰者

《新唐书·历志》说《九执历》由瞿昙悉达译自西域。以后，古今中外都依《新唐书》所说。瞿昙悉达在《九执历》开头也说："臣等谨按：九执历法，梵天所造，五通仙人承习传授。"表明他自己也承认九执历出自西域，是向精通历法的学者学习的。其法数完全属于印度系统。把《九执历》说成是从印度历法翻译，这是没错的。但是，这种翻译完全不同于直译，而是采用了印度历法中的法数，经过重新编写而成。因此，更确切地说，就是编译。就如明末徐光启依据西洋新法编译《崇祯历书》一样。几乎没有希望能找到完全与《九执历》相对应的印度历法文献[⑤]，它大约是参考印度那个时期的几种历法改编而成的。



---

① 见《玉海》卷十及《大藏经·宿曜经》影印宋碛砂版第五十七函。

② 收入《武陵山人遗书》。

③ 藏京都大学人文科学研究所。

④ 陈久金《九执历校注》，载《中国载籍中南亚史料汇编》，中国社会科学院南亚研究所编。上海古籍出版社，1994年，第280～298页。

⑤ 薮内清以为《九执历》主要是以《五种历数全书汇编》(550年)为依据的，但又说求月亮实行的方法以一种奇特的方式对应于《历法甘露》(665年)。可以肯定，《九执历》是《太阳历数全书》和《历法甘露》间的重要著作。见《九执历研究》，原载《Acfa Asiaficd》(《东方学报》)，No. 36，March 1979，张大卫译，载于《科学史译丛》，1984年第3期。



事实上，《九执历》是依印度法数重新进行编撰的工作，在《九执历》开头的按语中就已做了交待："今削除繁冗，开明法要，修仍旧贯，缉缀新经，备述算术，具算如左。"是对新旧历经做了融会贯通和经过删繁就简的。

为了适合中国的习惯，在《九执历》中，已带有中国历法的特点，例如，在求积日章中，载有求日之干支的方法："置积日，以六十除弃之，余从庚申算命之，得甲子之次。"在推太阳近地点运动时，以 15 度为一段，与中国以节气的分法完全对应。这些证据都证明，《九执历》是瞿昙悉达依据印度法数改编的一部自成系统的历法。

2. 历元及测制年代

《开元占经·九执历》以显庆二年(657)为历元；《新唐书·历志》所载九执历，则以开元二年(714)为历元。二者有何关系？推积日章说："上古积年，数太繁广，每因章首，遂便删除，务从简易，用舍随时。"可知其历元是随时改变的。删除时一般都以章首为新的历元，故开元二年距显庆二年计 57 年，合为三章。由此看来，其测制年代不会晚于显庆二年，肯定比麟德历(665)早。朱文鑫以为，九执历虽译于唐之开元，实为印度之古历，春分在羖首，秋分在秤首，为距今 2000 余年之西汉时代①。这种推论不正确。九执历太阳远地点在夏至前 10 度，大致与显庆二年的历元相合。这表明九执历中某些数据的测定年代距此不远，可能略早一些。薮内清认为介于《五种历数全书》和《历法甘露》之间，大致是正确的。中国发现太阳有迟速运动较晚，隋刘焯皇极历才第一次用以制历，但很不准确；大衍历基本上纠正了刘焯的错误，但取冬至为近地点，误差较大，在这一点上是不及九执历的。

3. 九执历的回归年和恒星年



九执历取 $29\frac{373}{703}$为朔望月日数，即 29.530583 日，比较精密。用 19 年 7 闰法，每 228 个月中加进 7 个闰月，19 个回归年中恰为 235 个月。由此可求得回归年日数为：$29\frac{373}{703}\times 235\div 19=365.24669$。朔望月和回归年的精度大致与元嘉历相当，比唐历稍差。

从九执历推算日月行度的方法，可以间接地导出恒星年和恒星月日数。汉历设周天为 $365\frac{1}{4}$度，平均太阳日行 1 度；而印度历法设周天为 360 度，所以太阳每日没分$\frac{13}{900}$度，日行$\frac{887}{900}$度。由此可求得太阳行一周天的日数为 $360\div\frac{887}{900}=$

① 《历法通志·九执历》。

365.2762日。

顾观光把恒星年误当做一岁之日，呼为“亘古未闻，必译书者之失。”其实九执历对这两种年是有区别的。

4. 九执历的科学成就

九执历的回归年、恒星年、朔望月、恒星月的数值，比唐朝麟德历、大衍历均较粗疏，且制定年代较久，所以预报交食不如大衍、麟德二历准确。但是，九执历引进了许多西方天文学的概念和计算方法，有些概念和方法是比较先进的。

①九执历曾引进10个印度数字，这些数字都是一笔写成，书写方便，如将它引进中国历算，对于中国历算的发展将是很有利的。

②九执历也引进周天360度和60进位的圆弧度量单位，朱文鑫评价说：“以整度驭零分，运算最便。”

③九执历引入以日月视径和地影经推交食的方法，更有推月视径大小变化的方法，也就更为精密。

④九执历推算交食时引进了黄平象限的概念，指出地平经纬随方而变迁，曰随方眼，用以判断各地不同食分，这是中国天文学家尚未认识到的。

⑤九执历所用太阳远地点的位置在夏至前10度、黄白交点的运动周期6794日，以及月行迟疾大差4度56分，日行盈缩大差2度14分，都比当时汉历精密①。当时中国天文学家对外来文化大多采取排斥的态度，没有将这些先进的东西学到手，做到融会贯通，致使湮没无闻，这是很可惜的。

五、关于“大衍写九执历其术未尽”的公案



玄宗开元九年，诏一行作新历。十五年草成而一行卒。诏张说(667—730)和历官陈玄景等整理成文。当时张说任宰相，他善于写文章，但不懂历算，具体整理和编写工作自然是陈玄景等人做的，张说仅是主持这项工作并做些文字加工而已。张说撰写的《大衍历序》，被收集在《玉海》卷十中保存了下来。大衍历于开元十七年颁行，张说也即于开元十八年死去。

事隔不久，即出了一件历法诉讼案。《新唐书·历志三上》记载这件事的经过时说：“时善算瞿昙譔者，怨不得预改历事，二十一年，与玄景奏：‘大衍写九执历其术未尽。’太子右司御率南宫说亦非之。诏侍御史李麟、太史令桓执圭较灵台候簿，大衍十得七八，麟德才三四，九执一二焉。乃罪说等，而是否决。”《新唐书·历志四下》又评论说：“陈玄景等持以惑当时，谓一行写其术未尽，妄矣。”

① 参见本书《一行》及《历法通志·九执历》。



《新唐书》作于北宋。由于事隔久远，很多事实都难以弄清了。刘羲叟所记讼诉案的处理经过大致无误，但也有许多不确切的地方，其所加评论也不正确。刘羲叟所说这场争议的起因就不正确。据瞿昙谍墓志，此年他仅是22岁的青年，称其为善算者就不确切，更不会有“怨不得预改历事”的野心。这是刘羲叟不明瞿昙悉达与瞿昙谍是父子关系，而乱加推测所致。

历法疏密，验在交食。这是我们古代检验历法好坏的传统标准。争议既起，朝廷仍以这个标准来判断是非。大衍历是一代名历，并且是刚刚制定的，在当时自然与天象最为相合。而九执历有些天文数据是较粗疏的，且测定年代已久，差误已较明显。因此，以交食疏密来判定是非，已决定了瞿昙谍这场官司非输不可。

陈玄景曾系统地整理一行编订大衍历所留下的资料，并且将两卷九执历的立成表与大衍历合在一起成为一部书；南宫说曾参与大衍历的测量工作，并且长期与瞿昙悉达同在太史监共事多年。瞿昙悉达任太史监受诏翻译《九执历》时，南宫说为太史丞。他俩共同支持瞿昙谍提出申诉，肯定事出有因。败诉之后，三人都受到了处分。瞿昙谍调离太史监，25年以后，直至肃宗继承帝位的第三年(758)，才将瞿昙谍调回司天台任秋官正。讼诉案也就不了了之。

关于大衍历引用九执历科学成就的证据，在本书《一行》中将做讨论，不再重复。朱文鑫说：“九执历译名奇奥，立法不同，卒使唐人莫得其解，无人能识其微妙”，“独一行知随方眼，而测九服日晷，以明北极出地；依阿修量而测九道月行，以定罗计周天。于是大衍遂为唐历之冠。”这就是说，朱文鑫认为，大衍历之所以能成为唐代名历，其创造主要有二，一是创测九服日晷以定各地食分，这是取法于九执历的随方眼；二是测九道月行，定出黄白交点移动的周期，这是取法于九执历的阿修量(即黄白正交宫度)。朱文鑫进一步分析说：“九执罗计逆行，六千七百九十四日而一周天，约每日行三分有奇，与今测密近，大衍九道议或即根据于此，而所测未密(6793日有奇)，故陈玄景谓‘大衍写九执其术未尽’。”因此，大衍历确实吸收了九执历的一些算法，如不进行具体分析，仅以此推交食进行验算，是不能判断是非的。

(撰稿人：陈久金)



第四节 一 行

一、生平简介

一行(683—727)俗名张遂，魏州昌乐(今河南省南乐县)人。曾祖张公谨(? ～632)是唐开国功臣。其父张擅为武功令，早亡。张遂童年家贫，是在都城长安度过的。《旧唐书·一行传》说他“少聪敏，博览经史，尤精历象、阴阳、五行之学。”青年时代的专长，为他将来编订大衍历打下了雄厚的基础。



图 4—6 一行像

当时长安元都观有一个学问渊博的道士尹崇，藏有许多典籍，张往借扬雄《太玄经》，数日后即归还，并把自己阅读后写成的《大衍玄图》和《义决》拿给尹崇看，尹崇深为敬重，称他为“后生颜子”。从此便名闻京都。

武则天做了皇帝，张遂家族长期受武氏政权的排斥，处于对立状态。武则天晚期，权臣武三思慕张遂之名欲与结交，张遂便逃匿至嵩山嵩阳寺出家为僧，法名一行。为了进一步提高自己的数学知识，他曾到数千里外浙江天台山国清寺游学，在名师的指导下，打下了坚实的数学基础，并进一步丰富了天文历法方面的知识。睿宗接位以后，曾于景云二年(711)征一行出来做官，他没有应命，随即到荆州当阳山向悟真和尚学习梵律。这方面的知识，对他了解印度天文学是很有帮助的。

唐玄宗接位后的第五年(717)，命其族叔礼部郎中张洽持敕书征一行到京，优礼相待。玄宗知道一行擅长天文历数，便于开元九年命一行考前代诸家历法，改撰新历。这是一次较大规模的改历活动，为了进行天文数据测量，特命率府兵曹参军梁令瓒造黄道游仪；又组织许多观测人员，到全国十几个点进行天文大地测量，以备制历时使用，一行本人则集中精力考校前代诸历，选取精密的天文数据。开元十五年(727)，大衍历草成而一行卒，由宰相张说(667—730)和历官陈玄景、赵昇等编为历术七篇、略例一篇、历议十篇。张说还写了《大衍历序》[1]。开元十七年颁行。

---

① 序文引载在《玉海》卷十。



二、黄道游仪和天象观测

开元九年一行受命改历以后，要求太史监测候天体的黄道行度，但灵台无黄道仪，无法测定。当时，正逢梁令瓒待制于丽正书院，他参考了李淳风制造黄道浑仪的记载，做出改进，制成了黄道游仪的木样。一行了解之后，大加赞赏，上书玄宗皇帝，要求正式以铜铁制作。开元十一年黄道游仪造成[①]，大衍历所用日月五星黄道进退的数值，大多是用这架仪器测定的。

这架仪器最大的改进之处在于承认有岁差。黄道斜交于赤道春秋二分之处。由于节气随岁差在赤道上西移，这架仪器的黄道环能相应地在赤道上移动，每一度一格，所以称为游仪。由于黄道环能随岁差移动，这架仪器便克服了李淳风黄道浑仪的缺点，能长期使用。在黄道环上还附加白道环，李淳风的黄道浑仪在黄道上打249孔，取每个交点月交点移动一格之意。黄道游仪以为，打249孔太繁杂了，改为黄道每度一孔。

黄道游仪制成以后，一行与灵台观测人员一起从事天象观测，观测项目大致有以下四个方面。

(1)二十八宿和其他恒星的方位观测。在中国天文学上，二十八宿是作为定标用的，所以，准确地测定二十八宿的方位，有着十分重要的意义。但是，人们却一直沿用汉代落下闳所测的数据。李淳风虽然重新做过测定，已经发现有明显的差异，但仍不敢改变。太史监的观测人员对二十八宿做了认真观测[②]，一行打破常规，大胆地在大衍历中第一次使用了新的观测数据，其入宿度有毕觜参鬼四宿均产生了1度的变化。尤其值得重视的是，二十八宿去极度的变化更加明显，平均都有2～3度的出入，最大的可达到4度。这是由于二十八宿距度的赤经差小，故由岁差引起的变化小，二十八宿距星距赤极远，故差异显著。除掉二十八宿以外，太史监还对130余颗恒星的方位进行了观测，并且记载了它们的方位。这些都是很有科学价值的历史文献。清梅文鼎曾将这次观测资料与汉代进行对比，即断言一行发现了恒星自行。[③] 朱文鑫也错误地引用了这种意见。对于汉唐恒星方位观测的差异，席泽宗已经做了正确的解释，他利用岁差公式对这些恒星的赤纬变化进行了计算，对比后证实了开元年间所测出的赤纬变化，与计算结果是基本相合的。[④]



---

① 此处依《新唐书·天文志》所说，《旧唐书·天文志》记为十三年。

② 《旧唐书·天文志》载“游仪初成，太史所测二十八宿等与经同异状。”可见开元年间恒星方位的观测工作并不是一行做的，很多学者关于一行恒星观测工作的提法不妥。

③ 梅文鼎：《历算全书》卷二。

④ 席泽宗：《僧一行观测恒星位置的工作》，《天文学报》，1956年，第4卷第2期。

大衍历还载有二十八宿黄道距度，精度达四分之一度，比赤道观测数据更为精密。

(2)月行观测。对月亮行度的观测，主要用于改进月行方位推算的精度。由于月行速度快，又有近点运动和交点运动的变化，只有对它进行认真观测和分析研究，才能推得准确的方位，这对准确地预报交食是头等重要的。对月行进行观测，必须要使用黄道装置，若用赤道装置观测时，黄道出入赤道 24 度，白道又出入黄道 6 度，合计有 60 度的变化，是很难做出准确测定的。利用黄道游仪，可以较方便地测出月亮的黄经和黄纬。利用黄经的观测值，可以较准确地研究月行迟疾的变化；利用黄纬，则可以研究交点月的运动状态。这两种运动，是准确地预报交食的关键。

(3)五星行度的观测。五星的运行轨道近于黄道，所以用黄道游仪观测其行度特别方便。《大衍历议·五星议》载有开元十二年岁星的观测记录，因此，在制定大衍历时，肯定是利用过黄道游仪的观测记录的。

在《大衍历》中，还首次载有行星入黄道南北的推算方法，由此可以进一步证明一行在行星观测上所取得的新成就。《大衍历》说："求星行黄道南北，各视其星变行入阴阳爻而定之。其前变入阳爻为黄道北，入阴爻为黄道南；后变入阳爻为黄道南，入阴爻为黄道北。"[①]其意义见图 4－7，行星从黄道北纬度最高处下行至降交点称为阳爻，由降交点行至黄道南纬度最高时为阴爻；另一半时则相反。

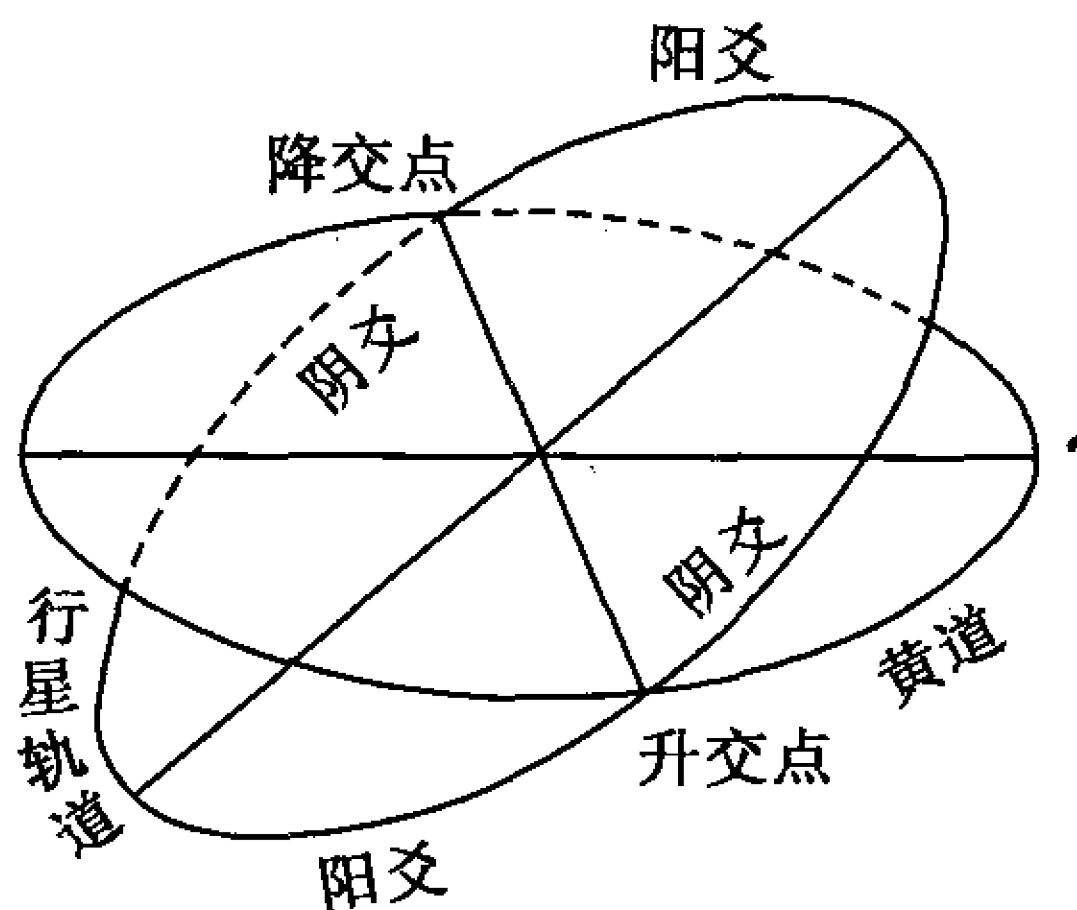


图 4－7　大衍历行星轨道的分段



三、发起天文大地测量

为了制定出更精密的历法，一行提出要遍测各地的北极高度(纬度)，四季日中晷影和昼夜漏刻。唐玄宗采纳了一行的意见。《唐会要》卷四二说："开元十二年四

① 《旧唐书·历志三》。



月二十三日，命太史监南宫说及太史官大相元太等，驰往安南、郎、蔡、蔚等州，测候日影，回日奏闻。数年伺候，及还京师，与一行师一时校之。"据《唐会要》和《新唐书·天文志》记载，当时北至蔚州、铁勒，南至安南、林邑，合计设立了13个观测站。主要天文官员南宫说在河南主持观测，历官大相元太则在安南，这两个观测站所取得的成绩也最显著。他们测日影用八尺圭表，测北极高度用复矩仪（见图4－8），测昼夜时刻则用漏壶。

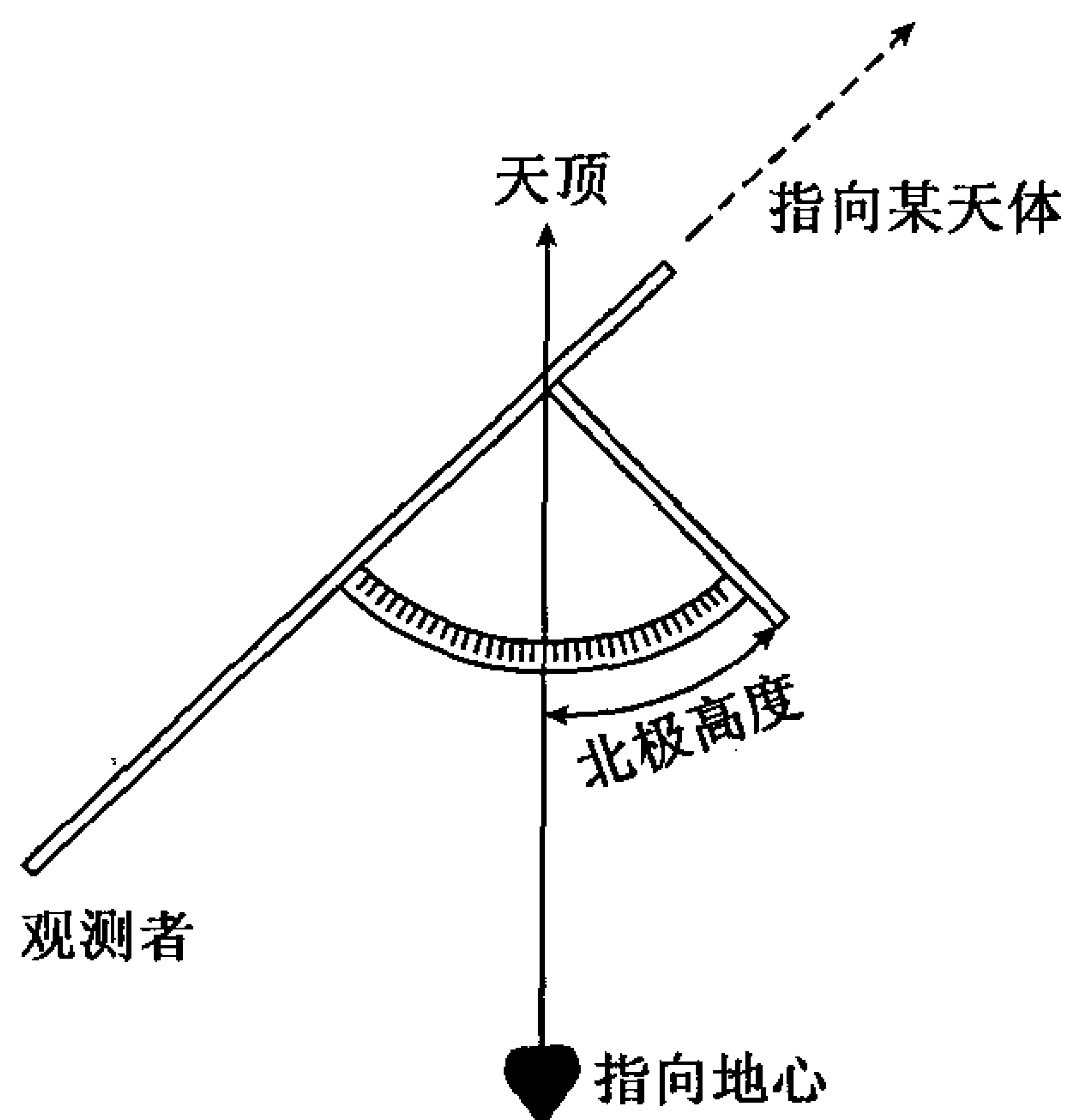


图4－8 复矩仪示意图

南宫说在河南主持了白马（滑县）、浚仪太岳台（开封西北郊）、扶沟（扶沟县）、武津（上蔡县）四个站天文数据的测量，取得较精密的北极高度，二分二至中午日影的长度，更为重要的是测出了这四个站之间的距离。这四个点有意识地选在同一经度上的平坦之地，目的是可以精确地测量距离。这四个点所取得的平均结果是："大率三百五十一里八十步而极差一度。"为了纪念这次历史性的观测，南宫说还于开元十一年在河南登封测景台立有一块纪念性的石表[①]。这块石表至今还完整地保存着。《新唐书·天文志》所载安南、铁勒等地距阳城的里数，都是用这一结果推出的，并非实测。关于这次子午线测量，已有很多人做过研究[②]，这里就不再深入讨论了。



四、大衍历及其成就

《玉海》卷十引《集贤注记》说："一行初奉诏于光大殿，改撰历经后，移在丽正

① 《新唐书·地理志》。

② 梁宗巨：《僧一行发起的子午线实测》，《科学史集刊》，1959年第2期；李迪：《唐代天文学家张遂》，上海人民出版社，1964年。

殿，与学士参校历术。”制定大衍历是一项综合性的计划，包括仪器制造；恒星方位、七曜运动位置和交食的观测；各地中晷、北极高度和日出入时刻的观测；古今历法成败得失的研究；编撰新的历法等。开元十二年至十三年，为改历用的必备天文数据已经基本齐集，便开始编撰历法。一行改历初期在光大殿工作，编撰历法时移至丽正殿。丽正殿是便于学士集会切磋学术的场所，为了制定出较精密的历法，曾在这里多次集会，进行研讨。大衍历是一行奉诏主持制定的，但它实际是一项集体的创作，数十名学者和工作人员都为此做出过贡献，见于史载的有太史监南宫说，历官陈玄景、赵昇和大相元太，率府兵曹参军梁令瓒，等等。陈玄景不仅在一行死后将大衍历整理成文，在制历过程中也曾提出过参考意见。[1]

唐宋的天文学家对大衍历评价很高，《旧唐书·历志》说：“近代精数者，皆以淳风、一行之法，历千古而无差，后人更之，要立异耳，无逾其精密也。”旧志的作者于历数不大在行，对大衍历盲目且又空洞的溢美之词，言过其实，无助于人们对大衍历的了解。《新唐书·历志》评价说：“自太初至麟德，历有二十三家，与天虽近而未密也。至一行密矣。其倚数立法，固无以易也。后世虽有改作者，皆依仿而已。”这种评价还稍微近于事实。但大衍历究竟取得哪些进步和成就，现择要讨论如下。

(1)撰写《大衍历议》。《新唐书·历志》引载《大衍历议》十二则，主要用于说明立法的理论根据及探讨基本天文数据的来源。中国许多古历，仅记载推算的方法和数据，几乎很少说明其原理，因此，《大衍历议》是一份十分珍贵的文献，它旁征博引，荟集了历史上十分丰富的天象记录和历法史料，用以说明新历立法的根据。就这点而言，它的价值就不比大衍历经本身的价值低。朱文鑫《历法通志》评论说：“且其历议援据经传，旁征博引，论古历之得失，证新历之合度。文长二万余字，上足以承四分历序、冲之《历辨》之详，下足以启周琮《历论》、《授时历议》之端。世称大衍历为名历，非无故也。”

其中最有价值的是中气议、合朔议、日度议、日躔盈缩略例、日食议、五星议六则。中气议、合朔议主要依据历史上实测的冬夏至记录和合朔记录，去伪存真，详加分析，再对比当时的实测记录，求出精密的回归年和朔望月值。中气议说：“自春秋以来至开元十二年，冬夏至凡三十一事，戊寅历得十六，麟德历得二十三，开元历得二十四。”合朔议说：“考汉元光以来史官注记，日食有加时者凡三十七事，麟德历得五，开元历得二十二。”由于认真分析了历史记录，又考虑了当时的实测，故新历与天象密合。开元二十一年检验大衍、麟德、九执三历的结果，大衍得第一，并非偶然也。日度议主要讨论岁差，一行依据历史上冬至日躔的记录，认真地批驳了李淳

① 见《玉海》卷五引《集贤注记》。



风等人不承认有岁差的议论，从而确立了人们对于岁差的正确认识。不过一行所定岁差偏小，以 83 年差 1 度，不如刘焯皇极历精密。大衍历日躔和五星盈缩在理论上较为合理，五星议中也有五星岁差的概念，这是一种新的认识。一行求得岁星 84 年而超 1 辰，与近代所测密近。只是一行对春秋战国时的岁星纪年资料发生误解，从而错误地做出岁星在历史上的行度有缓急之变的假设。日食议重点介绍了创立九服食差的理论依据，为中国古历推算九服食差奠定了理论基础。

(2)从理论上改进日躔盈缩的数据。《日躔盈缩略例》说："北齐张子信积候合食加时，觉日行有入气差，然损益未得其正。""焯术于春分前一日最急，后一日最舒；秋分前一日最舒，后一日最急。舒急同于二至，而中间一日平行。其说非是。"这就是说，张子信通过日食时测定太阳行度，发现日行有快慢的变化，实测得各个节气太阳累计偏离平行的数值，由此推得相邻两节气间的速率变化值，所得的结果不是顺次增减而呈跳跃式的变化。冬至最速，以后渐减(但都大于平行度)，至雨水又达最速，春分时日行最慢，以后渐增(但都小于平行度)，至夏至时又达最慢；夏至到冬至之间相反。一行发现，这种跳跃式的变化是不合理的。他认为，"凡阴阳往来，皆驯积而后迟。迨日北至，其行最舒，而渐益之，以至秋分又及申而后益急。"二次差内插法公式是刘焯创立的，一行使用这个公式来导出各个季节日行速率的变化数值，这就使得日行盈缩数的推算方法大大前进了一步。

盈缩大差是推算天体盈缩时最基本的数值，一般它都来自实测，其他数值都可由它用二次差或三次差导出。时宪历所用盈缩大差为 2 度 3 分(西法度)，近于真值。皇极历和麟德历都用 2.77 度。大衍历用 2.42 度。大衍历较麟德历精密。

(3)发展内插法的计算公式。在计算天体的盈缩运动时，一行基本上继承了刘焯创立的二次差内插法的计算方法。不过，在计算日行时，一行认识到，由于日行有盈缩，太阳在不同的位置上运行相同角度所需的时间是不等的，不能用平气来推算日行盈缩。因此，一行创立了定气算法，即在计算日行盈缩时，必须把不同季节之间时间不等的影响考虑进去。于是便对刘焯的二次差内插法做出改进，创立不等间距二次差内插法。经过这项改进以后，才有了求日行盈缩的合理算法①。



一行在数学方面也具有坚实的基础，他并没有满足于二次差的内插法计算，在推算月亮的黄纬时，便进一步创立了三次差的内插法。月亮黄纬是推算食分时的最重要数据。为了提高预报精度，一行终于又将内插法向前推进了一步。②

(4)创立九服食差算法。九服即是指都城以外的地方。各地的食分是有差异

---

① 钱宝琮：《从春秋到明末的历法沿革》，《历史研究》，1960 年第 2 期；李俨：《中算家的内插法研究》，科学出版社，1957 年。

② 王应伟：《古历通解·大衍历法注解》，油印本。

的，但在此之前无推算的方法。一行解决了这个问题，这在中国历法史上是一大进步。《大衍历议·日食议》说："日月交会，大小相若，而月在日下，自京师斜射而望之，假中国食既，则南方戴日之下所亏才半"，"步九服日晷以定蚀分"，"则宇宙虽广，可以一术齐之矣"。由此可以看出，一行已有了利用视差推算食分差的初步认识（图 4－9）。

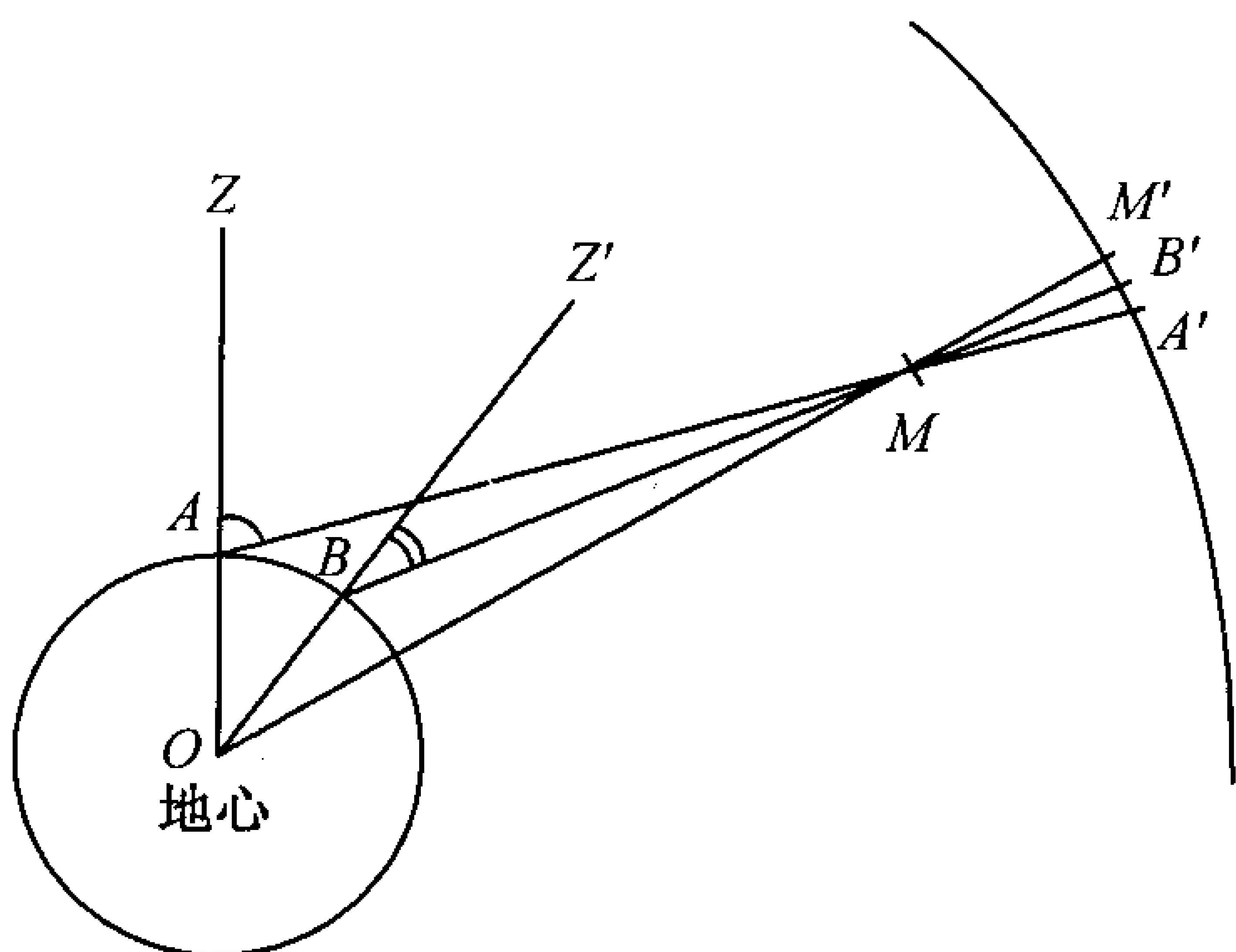


图 4－9　从不同纬度同时观测月亮时所生视差不等

一行的九服食差，是借助于气差的原理和数据来实现的。由于不同季节太阳的地平高度不同，夏高冬低，需要做出视差改正，才能做出正确的预报，这一改正的数值便称为气差。不同纬度对食分所产生差异的性质与此类似，故可用来推算。先测定各地二分二至中晷，与京师四季中晷相比较，求得京师与该地二分二至影长相等的日期，该日与二分二至的气差，便是所求地二分二至与京师的食差。有了二分二至食差，用内插法可求得其他节气的食差。与京师食分相加减，便是所求地的食分。



五、大衍历与《周易》

前已述及张遂从小就酷爱《周易》之学，青年时就因《周易》之学而名震京都，出家为僧之后志向不变。因此，一行以《周易》附会历法的基本数据，这是决非偶然的。

按照一行的意见，基本天文历法的数据，都能从《周易》的理论中找到解释，为他所起的大衍历名，也来源于《周易》。《易·系辞上》说："大衍之数五十，其用四十有九。"所有之数都是由此衍生出来的，故用以为历名。《系辞上》有"天一地二天三地四天五地六天七地八天九地十"10 个数，1 至 5 相加为生数之和 15，6 至 10 相加为成数之和 40，成数 40 乘生数 15 得 600，为天中积，生数 15 乘成数 40 得 600，为地中之积；天地中积之和为 1200，除以 4 得 300，叫爻率，《周易》64 卦中每一卦都有 6 个爻辞，爻辞的 50 倍为爻率；以 10 位乘爻率得 3000，叫二章之积；又以 5 材乘 8



象得 40，叫二微之积；章微之积相加即得气朔之分母 3040。大衍历中求各种天文数据奇零部分的共同分母通法（即日法），原来是从《周易》之数导出的[1]。大衍历暗用章法，3040 是 19 的 160 倍。对于 19 年的章法，一行也用《周易》来解释，“天数终于九，地数终于十，合二终以纪闰余。”[2]

一行不但用《周易》来附会天文数据，同时也用来附会历法中的专有名词，例如步中朔中的策实（岁实）、揲法（月法）、策余、挂限（闰限）、三元之策（平气）、四象之策（四分朔望月为一象之策）、爻数（干支周）、象统（二十四节气），步发敛中的天中之策（一候之数）、地中之策、贞悔之策，步日躔中的乾实（周天分），以及步交会、步五星中的少阳、老阳、少阴、老阴等名词，都来源于《易》中名词。以《易》中名词来附会代替习用的天文历法名词，这就使人很难理解，名数诡异，这是毫不足取的。然而，唐代的天文学家盲目推崇大衍历，对此没有一点批评意见，却贬斥《九执历》其术繁碎，名数诡异。就这点来说，是很不公正的。

开元二十一年，太史监桓执圭依据灵台候簿，对大衍、麟德、九执三历进行检验，得大衍历最优。这确是事实，这是它在制历时已经参考过这些候簿记录的缘故。如果麟德历、九执历参考这些候簿，改换新的历元，那么大衍历是未必能取胜的。大衍历为了要附会《易》，不惜降低天文数的精度。朱文鑫说：“观大衍所测转终（近点月）、交终（交点月）及金星一终之数，皆不如麟德、神龙之密（大衍历各节秒法，小数各异，运算亦嫌其不齐），盖一行必欲依附《易》蓍，牵合爻象，以眩其立数之神奇，而不究其步算之疏略，致有误差，深为可惜。”[3]大衍历制定期间发生的两次日食（开元十二年七月朔和十三年十二月朔）即预报不准，就是其法尚疏的一个证据。这两次预报有日食而实际未观测到的事实证明，大衍历所推实际合朔时刻是有相当误差的。



汉武帝太初年间改历，邓平以钟律附会历数，以黄钟九九自乘作为日法，树立了太初历的权威，排除了其余 17 家的竞争，行用了 180 余年。一行以易蓍附会历数，眩其立数之神奇，也取得了一些人的盲目信任。虽然盛誉一时，但最终还是给大衍历带来了损害。大衍历颁行不久即发现有误差，所推节气也明显失实，仅行用 20 余年即行废止。如果一行不附会易蓍，将精力集中用于提高天文数据的实测精度，是有可能做得更好一些的。

① 见《大衍历议·历本议》，王应伟《古历通释·大衍历议注解》曾做过解释。

② 见《大衍历议·历本议》。

③ 《历法通志·大衍历》。

六、吸取九执历的科学成就

开元二十一年，瞿昙譔、陈玄景告“大衍写九执其术未尽”，并得到南宫说的支持。瞿昙譔是九执历译者瞿昙悉达的儿子，南宫说和陈玄景是改历时太史监的两位主要官员，也是改历时的主要参加者，此事非同小可，朝廷责成侍御史李麟和新太史令桓执圭依灵台候簿校验，并惩处了这三个人。从大衍历和九执历的对比研究可以发现，大衍历确实是吸取了九执历的科学成果的。

1.《日食议・略例》记《九执历》概要

关于这一点，王应伟在《古历通解・大衍历议注解》中曾做过详细的对比分析，《日食议・略例》中的好些话，在《九执历》推日食中几乎都能找到对应的文句，尽管专有名词不同，阐述方式有所差异，但就二者存在密切关系这点来说，几乎是不能否定的。因此，王应伟总结说:“陈玄景说‘一行写九执历未尽’确是事实，但当时人众未解这一语的真意罢了。”

2.九服食差的概念受到九执历的启发

在大衍历中，突然出现九服食差的推算方法，从此开创了可以同时推算各地食差的新局面。以往人们大多认为这是一行的独创，其实在九执历中早就有这种算法，其后命求南北差的方法，讲的就是这方面的内容。开元十二年，南宫说已经接替了瞿昙悉达的太史监职务，可知瞿昙悉达已在开元十二年以前死去。瞿昙悉达于开元六年受诏翻译九执历，大约在一二年内即已完成，后长期在太史监参用，一行死后，张说等整理大衍历文稿时编成的《勒成》五十二卷中，就包含有《立成法天竺九执历》二卷，因此，一行编历时见到过九执历是没有问题的。《五星议》中曾批评“天竺历从九执之情，皆有所好恶”;《步交会术》中在推食分大小和加食辰刻时，曾谈到天竺俱摩罗日食法，因此，一行确实注意过天竺历法，对它并不陌生。则大衍历引入九执历推九服食差的新方法，也就并不奇怪了。



3.引入以月黄纬推算交食的方法

中国传统的推算食分的方法，大都是以月去黄道度来推算的。定食限为 15 度余，所以食分也定为 15 分。在大衍历中出现此法，并与九执历相同，可能与九执历有关。

4.讨论了用日、月、地影径求日月食分的方法

此法载在《日食议・略例》，提到以利用日月视径求食差、利用月视径和暗虚半径求食分的方法。中国天文学传统没有这个概念，除掉九执、回回、时宪等西方系统的历法以外，在一行之后也未使用过。而此法却完全与九执历相对应。中国古代暗虚食月的概念是有的，但从未用来推算过食分，也从未有过暗虚半径的概念。



这是由于中国古代从未有过清楚的地圆概念的缘故。

5."大衍写九执其术未尽"

其含义包括两个方面。一是算法不全,二是数据不精。例如用日月视径和地影半径求食分的方法,明显地是来源于九执历的,但大衍历仅在《历议》中提出此方法和概念,在历法中并未使用,此是"未尽"之一例。又如大衍历吸取了九执历的九服食差概念以后,不用其三角比例算法,而改以内插法。由于二次差内插不如三角比例算法精密,也是"写其术未尽"的一例。再如大衍历纠正了皇极历日行盈缩跳跃式的不合理的数据,又将盈缩大分值 2.77 度降为 2.42 度,这些都是明显的进步①,但仍不如九执历 2 度 14 分精密。再如大衍历测九道月行的方法,也不如九执历中推阿修法精密。因此,瞿昙譔、陈玄景等人是言之有据的。

瞿昙悉达是唐朝政府天文官员,一行受诏为唐朝政府制定历法,将各家历法中的先进部分,包括九执历在内,都吸收到新历中来,这是理所当然的,一行吸收九执历中的可取部分,具有积极意义,客观上也促进了中国天文历法的发展。不过其做法也有缺点,他引用了九执历的先进成就,非但不予肯定,反而对九执历和天竺历多处持批评态度,这是引起纠纷的重要原因。唐朝政府不察实情,盲目以候簿来判别是非,并给控告人严厉惩处,这是不恰当的②,以致九执历被贬斥和埋没,西方天文学中的部分概念和算法当时已经传到中国,并已译成汉文,而没有得到充分的传播,这是很可惜的。

(撰稿人:陈久金)

第五节　南宫说



一、南宫说的生平梗概

南宫说,盛唐时人,年代约为 7 世纪后期至 8 世纪上半叶,新旧两唐书均无传。按文献所载事迹,知其于武则天晚年任职,至玄宗开元、天宝年间。出现于史籍的最早年份,为 705 年。据《唐会要》载:"神龙元年(705),太史丞南宫说奏……诏更治乙巳元历,至景龙中成之"。太史丞是唐代太史局中品级较低的官职,武则天久

① 张培瑜曾比较大衍历与古希腊喜帕恰斯所测日行盈缩大分都为 143 分,这一结果是很有趣味的。见《僧一行对日行急舒的认识》,《紫金山天文台台刊》,1982 年,第 1 卷第 4 期。

② 唐朝政府关于此公案的处理,请参见本书《瞿昙悉达》。

视二年(701)始置,品位为从七品下[①]。这年是武则天去世后唐中宗李显复位之年,任太史丞的南宫说当从政不久,还较年轻。唐代的天文机构屡经更名,武则天长安二年(702)复太史局[②],沿用至景龙二年(708)又改为太史监,但监官职务依旧称太史令。直到开元二年,方将监官职名改为太史监,使衙署之名与负责官员的职称相同。开元十四年(726)再复局名,又称太史令。南宫说在新历完成后可能就升任太史令了[③]。太史令官阶当时为正五品上,在古代历朝中,相对地还是偏低的[④]。

开元八年时,南宫说已改任左金吾卫长史,但有时仍参与天文事务。《唐会要》说道:"开元八年六月十五日,左金吾卫长史南宫说奏,浑天图空有其书,今臣既修九曜占书,要须量校星象。望请造两枚,一进内,一留曹司,许之。"[⑤]浑天图似为按浑天说绘制的星图,可用以认识和观察天象。南宫说既撰著九曜占书,自然需认定星空背景,所以提出制作浑天图。这时任太史监的为印度裔天文学家瞿昙悉达[⑥]。但是,不久以后,瞿昙去职,至开元十二年(724),南宫说再任太史监,并且他还承担了历史上著名的全国测影的重任[⑦]。

后来,开元二十一年(733)时,大衍历颁行已4年,有瞿昙氏家族的瞿昙譔,会同历官陈玄景称"大衍写九执历,其术未尽。"已迁升为太子右司御率的南宫说也附和加以非难。唐玄宗遂命太史令桓执圭与侍御史李麟,取灵台观测记录,以各历术数校核。结果是"大衍十得七八,麟德才三四,九执一二焉。"于是就加罪南宫说等人[⑧]。此后,史籍就不再有关于南宫说的记载了。从705年到733年,共29年。若南宫说于青年时代任职太史丞,被罪时当已50多岁,最后落得一个悲剧性的结局。

二、神龙历的编制及其特点



武则天垂暮之年,中宗反正,是为神龙元年(705)。入仕不久,官职卑微,得任太史丞的南宫说上奏道:"麟德历加时浸疏。又上元甲子之首,五星有入气加时,非合璧连珠之正也。"由是更造新历。由于倡导于神龙年间,故称"神龙历"。

---

① 《大唐六典》卷十"太史局";又,《旧唐书》志第二十二"职官一"同。《新唐书》志第三十七"百官二"记为"正六品上"。

② 这是由于久视元年(700)时武则天派术士尚献甫为太史令,尚不愿就,因而改设浑天监,任尚为监官。旋又改浑仪监,脱离秘书省。长安二年尚卒,复曰太史局,还隶秘书省。浑天监官职复称太史令。

③ 《大唐六典》卷十"太史局"一节记云:"神龙历,神龙中太史令南宫说所造。"

④ 唐初承隋制,太史令为从五品下,久视元年任用尚献甫,升阶为正第五品上。

⑤ 《唐会要》卷四十二"浑仪图"。

⑥ 《新唐书·历志四下》记云:"九执历者,出于西域,开元六年,诏太史监瞿昙悉达译之。"

⑦ 《旧唐书·天文志上》;杜佑《通典》卷二十六"职官"八。

⑧ 《新唐书·历志三上》。



如《大唐六典》"神龙历"项下李林甫注道:"神龙中,太史令南宫说所造。"[①]又,《旧五代史·历志》亦称"神龙历"。此历法共经过4年左右,实际上完成于景龙年间,所以又称"景龙历",如《旧唐书·历志二》即用此称[②]。新制的历法以414360年前的乙巳年为太极上元,并以该年"十一月甲子朔旦冬至之日","夜半之时,斗衡之末建于子中",日月五星都"起于星纪牵牛",作为历的起始时刻。神龙元年是乙巳年,因而它又称"乙巳元历"[③]。神龙历在编制完成后,中宗曾于景龙四年(710)下诏施用。但这年六月,中宗被毒死,经历了短命的殇帝李重茂的过渡,一个月后,专政的韦后被诛,睿宗李旦即位,新历遭罢,昙花一现的景龙历就此夭折了[④]。

在古代,有的史家对景龙历的评价不高。如后晋刘昫《旧唐书·历志》说:"南宫说造景龙历,皆旧法之所弃者,复取用之。徒云革易,宁造深微,寻亦不行。"继又道:"景龙历不经行用,世以为非,今略而不载。"然而,在《旧唐书·历志二》之末,却又附载其上元积年及历的根数27项。因此朱文鑫曾讥讽刘昫"未尝略而不载","是其前后序言矛盾之处。"[⑤]该志更称:"……景龙历寝废不行。麟德历经,今略载其法大端。"朱文鑫认为"'麟德历经'四字,于文义不相属,必系误衍。"又,岑建功《旧唐书校勘记》亦云:"'麟德历经'四字,已于卷首著之,以下所载皆其历之经也,不应卷末于光宅等两历(按,指光宅历与景龙历)又及之,殆衍之耳。"可是,从全志行文来析义,前总序言称"今略而不载",那是指"前史取傅仁钧、李淳风、南宫说、一行四家历经为《历志》四卷",该志则"取戊寅、麟德、大衍三历法……示于畴官尔。"那么,所谓"略而不载"当是指不载这一卷景龙历全文,只载余三卷历法的全文。后序所谓"……麟德历经今略载其法大端",实不应断句于"经"字。此句涵义应理解为:现于麟德历经的历法内简单地记载了(景龙历)这历法的要点。如将句中"今"字移至句首,置于"麟"字之前,意思就明确得多了。它是承"景龙历寝废不行"(用逗号)接下去说的,所以"麟德历法"四字,并非衍误,亦不矛盾。



观察《旧唐书·历志》所载神龙历的27项根数,它们最大的特点是:在个位数以下采用了实际上等效于十进位小数的计数法。古代的历法以至古代的数学,凡表示个位数以下的数值,历来采用分数,而不用十进小数。历法中分母常定得很

---

① 李林甫作注时,南宫说已升任太史令,故不称太史丞。

② 《新唐书·历志》亦曾用景龙历之名。

③ 见《新唐书·历志二》和《旧唐书·历志二》。

④ 《旧唐书·历志二》记:"……至景龙中,历成,诏令施用。俄而睿宗即位,景龙历寝废不行。"从文义看,景龙历曾在景龙四年正式公布行用,但几个月后,就被明令废止了。

⑤ 朱文鑫:《十七史天文诸志研究》九,"唐书"。

大，并且常使用好几个分母，相当繁复。到李淳风作麟德历，将分母统一用1340，称“总法”，大为省便。

南宫说作神龙历，首先采用总法的方式，统一分母用数，称为“母法”。但母法采用100，更为省捷。实质上这就是百进位的小数。它的回归年365.2448日，称为期周365日。余24，奇48，意即$365+\frac{24}{100}+\frac{1}{100}\times\frac{48}{100}$日。它的朔望月为29.5306日，称为月法29日，余53，奇6，即$29+\frac{53}{100}+\frac{1}{100}\times\frac{6}{100}$。近点月27.554559日，称为月周法27日，余55，奇45，小分59。

现残存的27项用数，除上述外，还有周矢法、交周法以及水合法等五星会合周期等，都是以100为分母。这自然是一项比较重大的进展。用于计算，极为方便。现将几个主要数据列算于下：

辰法　8刻；分，33少半：即12辰的每辰刻数为100÷12＝8.3333(刻)

气法　15日；余21，奇85少半：即24气每气的日数为365.2448÷24＝15.218533(日)

候法　5日；余7，奇28，小分4：即72候每候的时日为365.2448÷72＝5.0728 4(日)

望法　14日，余76，奇53。即合朔后月望的时日为29.5306÷2＝14.7653(日)

闰差　10日，余87，奇76。即回归年减去12个朔望月后，累计得闰月的差数为365.2448－12×29.5306得10.8776(日)

周天法　365度，余25，奇71，小分13。即周天度亦即恒星年的日数为365.257113(日)



交周法　27日，余21，奇22，小分十六七分[①]。即交点月长度为27.212217(日)

木岁星合法　398日，余86，奇79，小分80。即木星会合周期为398.867980(日)

火荧惑合法　779日，余90，奇55，小分45。即火星会合周期为779.905545(日)

土镇星合法　378日，余8，奇4，小分80。即土星会合周期为378.080480(日)

金太白合法　583日，余91，奇77，小分70。即金星的会合周期为583.917770(日)

水辰星合法　115日，余87，奇95，小分70。即水星的会合周期为115.879570(日)

清代阮元在《畴人传》中给予好评道：“元授时术不用积年日法，此则用积年而不用日法也。小分、奇、余并以百为母，入算省约，五代万分术法盖出于此矣。”天文学史前辈朱文鑫亦予以肯定说：“此历小数皆以百为母，最为整齐。与今日分法相

① “十六七分”的六字为衍文。



合，为古历所未有，亦唐之善历者也。"这些评价是公正和恰当的。就以回归年等三项数值而言，倘以现代公式计算，神龙乙巳年的回归年长度为 365.242354 日，朔望月为 29.530590 日，近点月为 27.554555 日。南宫说的用数分别差＋0.0024 日，0，＋0.000004 日。而麟德历的误差则分别差＋0.002416 日，＋0.000007 日，－0.000006日。前者略胜一筹。欧阳修在《新唐书·历法》内说："乙巳元历……其术有黄道而无赤道，推五星先步定合，加伏日以求定见。他与淳风术同。所异者惟平合加减差。"其持论亦颇平允。至于前列 12 项用数中，其后 7 项数据，当用现代公式计算时，周天法之数为 365.25644 日，交周法为 27.21222 日，五星会合周期依次为 398.88 日，779.94 日，378.09 日，583.92 日，115.88 日。神龙历的用数是比较接近的，其中交点月尤为精密。

南宫说的母法用 100 为分母，其后五代民间有万分历，可谓异曲而同工。至元初郭守敬则连分母作 100 也不用了，即所谓废除日法。这时方算真正采用了百进位小数，而其创始之功应归于南宫说。

中国的度量衡制，其计量单位的计数法，秦汉时期就已采用十进位计数了[①]。刘徽在《九章算术注》一书内曾使用过带单位名称的十进制分数。东晋末年的夏侯阳曾经提出说，在除法中，倘使除数是 10 或 10 的幂数，就可不必做除法。这种方法叫作步除[②]。100 就是 10 的二次幂，所以南宫说在整数之下采用余、奇、小分，就是用 10^2、10^4、10^6 作除数，不需做除法，等同于百进位制小数，并等效于十进位小数。故南宫说是有其师承的，他将我国古代数学上的成就应用到历法上来了。不论在西方还是在印度，对于十进位小数在实际上的使用，都是瞠乎其后的。

三、最早的全国性天文测量



立表测正午日影，在中国具有最古老的传统。它的主要用途是确定夏至和冬至日。这同历法的制定有着极密切的关系，经过多次改进其方法不断趋向精密。测影工作的逐渐深入，到东晋穆帝永和五年(349)时，九真太守灌邃南征林邑，五月立表，人们第一次发现"影在表南"，达"九寸一分"，以至居民"开北户以向日"。[③]然而，第一次大规模的日影测量和北极出地高度测量，特别是大地的测量，要算南宫说所进行的那一次了。

这件事的起因，是僧一行奉唐玄宗的诏令制定新历——大衍历。当时，李淳风

---

① 贾谊：《新书》卷四十八。

② 《夏侯阳算经上》。

③ 引语均见《文献通考》卷三百三十一。

麟德历24气日中晷影，所用影长之值，同祖冲之的大明历颇有参差[①]。开元十二年(724)，一行为了造历，请求唐玄宗“诏太史测天下之晷，求其土中，以为定数。”[②]这时南宫说已升任太史监之职，工作自然而然地落到了他的身上。《唐会要》称：“开元十二年四月二十三日，命太史监南宫说及太史官大相元太等，驰传住安南、朗、蔡、蔚等州，测候日影，回日奏闻。及还京，与一行师一时校之。”[③]这次测影，极为郑重，行前先在长安的丽正殿确定表的式样，并核审其尺寸是否准确无误，然后很快便出发工作。太史监须从事测影的地区，范围极为广泛。史籍称：“安南景，北极高二十一度六分，冬至日影长在表北七尺九寸四分，春秋二分影二尺九寸三分，夏至影在表南三寸三分。蔚州横野军，北极高四十度，冬至，影一丈五尺八寸九分。春秋二分，影六尺二寸二分。夏至，影在表北二尺二寸九分。此二所为中土南北之极……”下面分述各处测量结果。又，据《旧唐书·天文志》所记，则称：“开元十二年，太史监南宫说择河南平地，水准绳，树八尺表而以引度之。始自滑州白马县……得卞州浚仪古台表……得许州扶沟县表……至豫州上蔡武津表……”总之，此举实为唐玄宗按一行制历所需布置给太史监的一项具体工作任务。测影的目的是要为大衍历取得一笔基本数据，故称回京后，“与一行师一时校之”。即他们二人共同做了校算。现将《唐会要》所记及两《唐书》异文，列于表4－4。

《唐会要》记测影地区有安南都护府至太原府共十一处，见表4－4序号1至11。而两《唐书》更提到交州、铁勒与阳城，而无告成。唐代的交州处于安南都护府之内，治所宋平即为交州，两者是一地。河南府告成与阳城是否同一处呢？《历代天文律历等志汇编》第三册《新唐书·天文志一》的校勘记提出了这问题，它说：“(阳城)极出地三十四度十分度之四。按《唐会要》卷四十二：‘河南府告成，北极高三十四度七分……’，未记及阳城。核算下文所记阳城与武陵，横野军……时，发现俱系用河南府极高和影长。若用阳城极高和影长计算……则与所列有关数据不合。”实则，这二处虽名称不同，按理应为一处。因古阳城在秦代始置县时，治所即在今登封东南15公里的告成镇。至武则天万岁登封元年方改名告成；故《唐会要》于开元时称“告成”，它属河南府。这名称宋代修《唐书》时业已废除[④]，故书内写作“阳城”。南宫说的石表设立于镇北，当然他认为这里是周公阳城测影之所。于是表内极高与冬夏至影长，两笔数均不相同，似令人迷惑。若就史料进一步排比，这两笔不同值存在着下列疑点。



① 《新唐书·天文志》“中晷之法”一节云：“初淳风造历，定二十四气中晷，与祖冲之之短长颇异，然未知其孰是。”

② 《新唐书·天文志一》。

③ 《唐会要》卷四十二，“测量”。又杜佑《通典》卷二十六“职官”八。

④ “告成”之名废于唐末天佑中。



表 4—4　《唐会要》及《唐书》记载的数据

序号	地点	今地名	所测北极出地高	今地理纬度（折古度）	冬至日影	春秋分日影	夏至日影	《新唐书》《旧唐书》异文
1	安南都护府	今越南河内	21 度 6 分	21 度 3 分	7.94 尺	2.93 尺	表南 0.33 尺	极高 20 度 4 分
2	蔚州横野军	山西灵丘东北河北蔚县	40	40　4	15.89	6.62	表北 2.29	春秋分 6.445 尺，图测 6.625 尺①
3	林邑国	首府因陀罗在越南顺化附近	17　4	16　7	6.90	2.65	表南 0.57	定春秋分 2.85 尺
4	朗州武陵	湖南常德	29　5	29　5	10.53	4.47	表北 0.77	图测春秋分 4.375 尺
5	襄　州	湖北襄樊市襄阳	—	32　5	—	4.80	—	—
6	蔡州武津馆	河南上蔡附近	33　8	33　8	12.38	5.28	表北 1.36	1.365 尺
7	许州扶沟	河南扶沟	34　3	34　6	12.50	5.37	1.44	冬至 12.55 尺
8	河南府告成	河南登封告成镇	34　7	34　9	12.71	5.45	1.49	《旧唐志》1.48 尺弱，《新唐志》1.478 尺
9	汴州浚仪太岳台	河南开封市区西部	34　8	35　3	12.85	5.50	1.53	—
10	滑州白马	河南滑县东旧城	35　3	36　1	13.00	5.56	1.57	—
11	太原府	山西太原南晋祠之东	—	38　3	—	6.00		—
12	铁勒	俄罗斯贝加尔湖南乌兰乌德附近	52　0	?	29.26	9.87	4.13	《唐会要》所无
13	阳城	河南登封告成镇	34　4	34　9	12.715	—	1.478	
14	京兆	陕西西安	—	34　7	1.42	5.34	1.292	—

① 《新唐书·天文志》记为六尺六寸二分半，《旧唐书·天文志》记为六尺六寸三分半，相差一分，当为笔误。



①从北极出地高度数值看,"告成"应在北,"阳城"应在南,理应前者影长,后者影短。然而所记各值却互有短长。

②极高差3分,两地沿子午线方向的南北距离应相差约27公里。这距离已远大于洛阳与告成间的子午线距离,后者约21公里。另外,战国及以前的古阳城,位于告成镇西北,更两相紧靠难分。

③进而校核两《唐志》各实测数值,对阳城同样存在着抵触:

"阳城……极出地三十四度十分度之四",即34度4分;"自滑台表视之,高三十五度三分,差阳城九分",则阳城应为34度4分;

"自浚仪表视之,高三十四度八分,差阳城四分",阳城亦为34度4分;

"自武津表视之,高三十三度八分,差阳城九分",则阳城当属34度7分;

"朗州测影……北极出地二十九度半,差阳城五度二分",阳城亦是34度7分;

"以图校安南……北极高二十度四分,……差阳城十四度三分",阳城亦是34度7分;

"蔚州横野军……极高四十度,差阳城五度三分[①],阳城同为34度7分;

"武陵……极高二十九度半,差阳城五度三分",阳城为34度8分(此项五度三分,或为五度二分之误);

"安南……其径五千二十三里",当除以381里80步[②],极差为14度3分,得阳城34度7分;

"林邑……其径六千一百一十二里",同理,极差17度4分,得阳城34度8分,即近于34度7分。

告成镇的现测纬度为北纬34°26′,折古度得34度9分,同34度7分(或8分)较相近。这两笔数值四分的"四"可能为"七"的误值,亦可能七分或系后来重测值,告成冬至晷12.71尺恐是12.715尺的简写,如蔚州横野军春秋分的6.62尺与6.625尺,类同于此。夏至晷的1.478尺进位得1.48尺,则1.49尺的"九"或为"八"之误,或者1.478尺恐是1.487尺,进位即得1.49尺。总之,《唐书》单位有毫,在《唐会要》里一律仅取至分,以致微有出入。若果如此,那么唐代南宫说测影,当为12处[③]。

《唐六典》卷十述造历,除记蔚州等地测影外,同时记有京兆冬夏至与春分影长

---

① 《新唐志》记"五度三分",《旧唐志》记为"五度二分",二分应为"三分"之误。

② 两《唐志》均得"大率三百五十一单八十步而极差一度"。

③ 历来通称测景十三处,那是将交州与安南都护府误作两处,或将河南府(告成)与阳城分作两处之故。



(表 4—4 序号 14),兼记洛城(即洛阳)春分影长 5.25 尺。可知当年实测地区至少有 14 处或 15 处,可惜史籍所记阙漏不详。例如:《唐书》称安南极高 20 度 4 分,不知何所指;蔚州春秋分影长有 6.445 尺与图测 6.625 尺,而《唐六典》同《唐会要》记实测 6.62 尺,等等。所谓图测,当是《旧唐书·天文志》所载"今以勾股图校之"的"勾股图"。至于测北极出地高度,所用仪表当是一行所说的"复矩仪"。如《旧唐志》所载:"阳城……以复矩斜视,北极出地三十四度四分……朗州……按图斜视,北极出地二十九度半。"此次全国普测结果,"自丹穴以暨幽都[①]之地,凡为图二十四,以考日蚀之分数,知夜漏之短长"。由此可见,为制历所需,测量的地域遍及南北,无怪乎要花费"数年"的时间了。北极出地高度,即当地的地理纬度,目视测量未做大气折射和视差等校正。从前面的表以今地理纬度折算为古度相比较,有的数值相同,如武陵。差误最大的滑州白马差 0.8 度。大多数仅相差 2～3 分。就中古时代而论,复矩图测量的功效,可谓相当精妙,南宫说的工作态度,也可算是相当严谨的了。

四、十二个半世纪以前纪念周公地中测影的丰碑

南宫说在河南的活动,还给我们留下了一座石表,至今屹立在登封告成镇北侧,象征着古代的测景伟业。按,土圭测影之制,见于《周礼·大司徒》的《夏官·土方氏》、《春官·冯相氏》各节。相传周公摄政时,在阳城故地立八尺表用土圭测影以定地中[②]。表又称臬,或作槷,《周髀算经》称为髀。《周礼》说:"日至之景,尺有五寸。"唐初这里还存有周公测景的遗迹[③]。仪凤四年,太常博士姚玄曾在这里测夏至日景[④]。南宫说于开元十一年(723)立石表时,主要是作纪念用的。故顶端设帽,以代碑额;上部正面大字题刻"周公测景台"五字[⑤],示似作碑碣之用[⑥]。令人感兴趣的是石表的尺度,因为他同唐尺发生了关联,又同夏至晷影有密切关系(图 4—10)。



石表各部分并不十分规整。下半部为台体,四条棱线长度,自右前经左前

---

① 幽都即今北京西南古蓟县地。

② 东汉郑玄注《周礼》引章帝时郑众语。又,后魏郦道元《水经注》云:颍水迳其县故城南……亦周公土圭测日景处。"

③ 唐永徽年间(650—655)贾公彦作《周礼义疏》说:"……阳城县,是周公度景之处,古迹犹存……"

④ 唐杜佑《通典》:"仪凤四年五月,命太常博士姚玄于阳城测景台依古法立八尺表,夏至日中测景尺有五寸。"

⑤ 《旧唐书·地理志》"河南府"云:"测景台,开元十一年诏太史监南宫说刻石表焉。"

⑥ 董作宾:《周公测景台调查报告》,商务印书馆,1937 年。

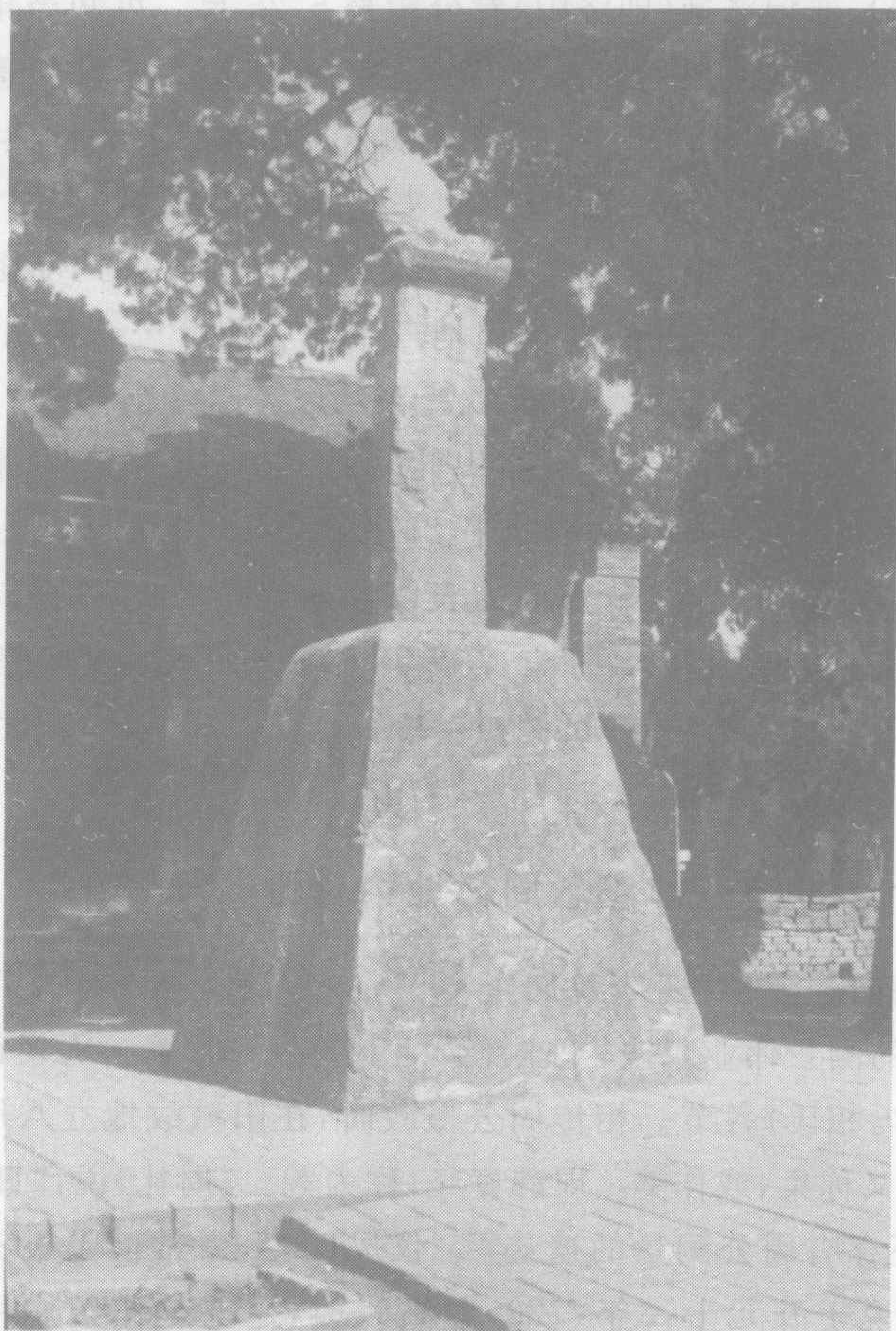


图 4—10　告成镇"周公测景台"的石表

绕至右后，分别为 205.8、203.5、201.9 和 202.1 厘米[①]。其竖直高度以后面中间计为 195.3 厘米。上半部表身也非严格的矩形柱体，后面正中高 163.2 厘米，顶高 32 厘米，合共 195.2 厘米。以此二值为 8 尺，则每尺折约 24.41 厘米(图 4—11)。

我们曾将南京紫金山天文台明代圭表与简仪的大部件做了量度，得 1 尺约略相当于 24.53 厘米[②]。而据各家考证则唐代用于测晷影的小尺与日用大尺相差 2

① 现所量石表各部分尺寸，同董作宾、高平子等人于 1937 年量度所得，尾数颇有差别；后者见《周公测景台调查报告》。

② 协作参加量度的前者有紫金山天文台王德昌，后者有南京天文仪器厂李德培、黄铁琴。



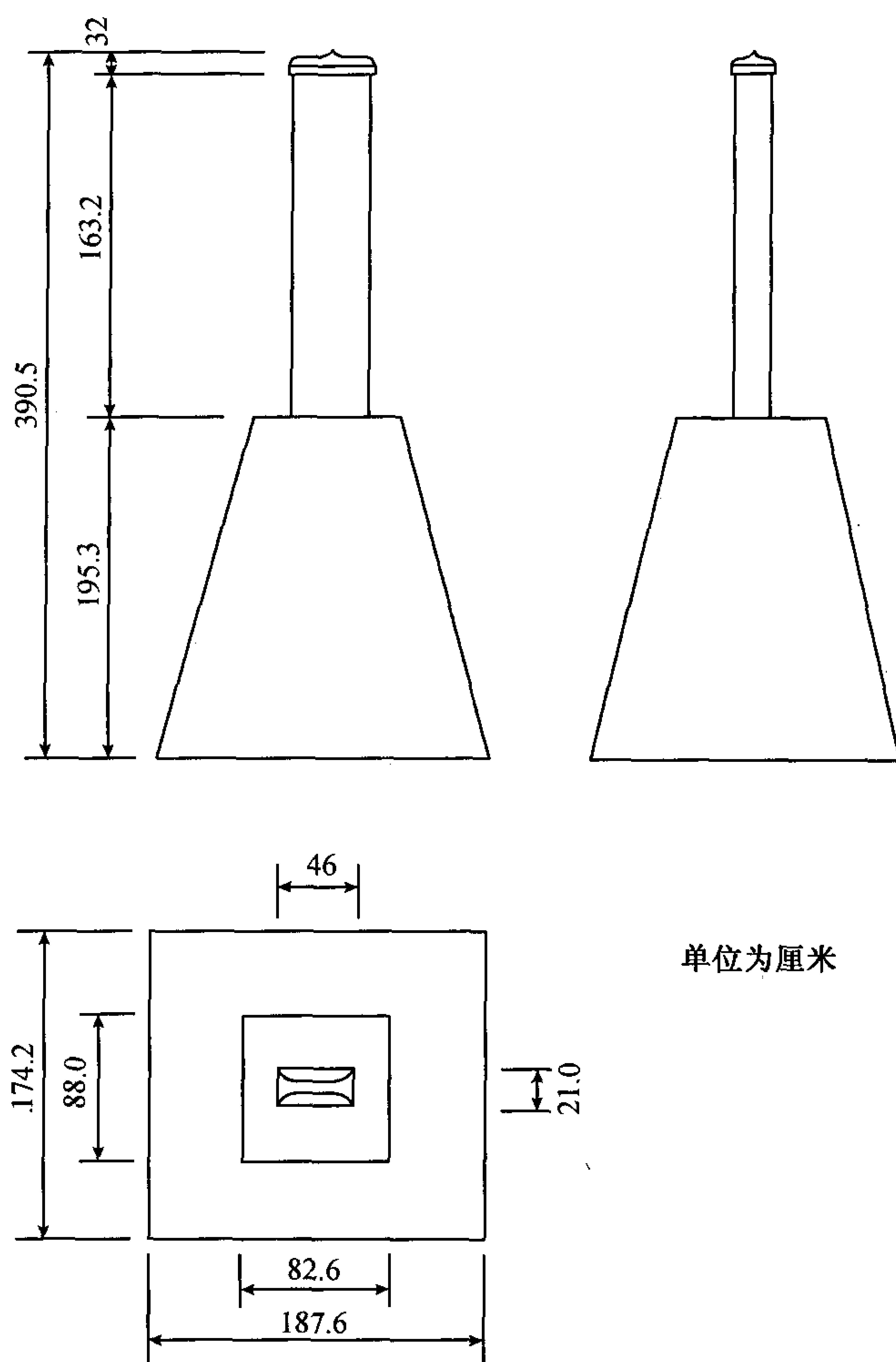


图 4－11 南宫说石表的实测形制



寸。小尺一尺或谓 24.57 厘米，或谓 24.5 厘米[①]，或谓 24.51 厘米[②]，相差都极微小。至于大尺则或谓 29.58 厘米[③]，或谓 29.51 厘米[④]，两者也相去不远。关于测影问题，我们不妨先做一计算。按告成纬度 34°26′，当时黄赤交角 23°36′.3，计算夏至与冬至日 8 尺表的正午日影[⑤]，则得：

① 杨宽:《中国历代尺度考》，1955 年商务印书馆重版，第 85 页。
② 吴承洛:《中国度量衡史》中“开皇调钟律用尺”及“开宝通用的官尺”。
③ 杨宽:《中国历代尺度考》，1955 年商务印书馆重版，第 100 页。
④ 吴承洛:《中国度量衡史》中“开皇调钟律用尺”及“开宝通用的官尺”。
⑤ 计算太阳天顶距时，引入了大气折射、太阳半径及视差三项校正。

夏至日：太阳天顶距＝(34°26′－23°36′.3)－15′.8－0′.6＋0′.1＝10°33′.4

影长＝8尺×tan10°33′.4＝1.49尺

冬至日：太阳天顶距＝(34°26′＋23°36′.3)－16′.3－1′.5＋0′.1＝57°44′6

影长＝8尺×tan57°44′.6＝12.68尺

上述影长，同《唐会要》所载阳城测影结果，夏至日相同，冬至日相差3分，因此，南宫说阳城测影一举，可谓做得相当出色。

就石表本身而论，上半部的矩形表和表下的台体，其外形貌似合而为一座1.6丈高的大表。夏至日倘以8尺表影长1.49尺而论，则全局的影长应为72.7厘米。现如以表石后半身为准，则底面往北延伸量，右侧为76.5厘米，左侧为74.0厘米。夏至正午，这石表是无影的。若单以石座而论，虽角与线的锋棱均已不太明显，四周尺寸未全严格相等，但按石座台体底面后边缘投影计，约略偏北1.65尺左右。故以下半部而论，夏至正午亦不见影。当地人对石表俗称“没影台”。石表北侧面有后世所刻对联云：“道通天地有形外，德蕴阴阳无影中。”恐即据此而撰。仪门处曾有刘仕伟于乾隆二十年所立，“测影台诗”刻石，诗末有题跋云：“其表石下宽四尺，高五尺许，上微削，垂立三尺许小石柱于上。夏至时刻，周遭没影。谚云：‘无影塔，天心，地胆’者也。”这充分说明自古以来，人们对古称阳城为地中，夏至影长1.5尺的关注。这座石表，基底面颇宽广，亦难以从相当于表足起点处量取影长。实际上它并不是一座仪表，而是纪念阳城为夏至影长1.5尺的古“地中”与古代周公在此测影的一座丰碑。

五、从事世界上第一次子午线测量



南宫说事业中最有价值的要算地球子午线长度的测量了，这是同日影测量相结合进行的。魏晋以前人们都信日影千里差一寸之说，何承天根据实测影长变化而对传统说法提出了异议，刘焯更深入一层依算学原理而再做否定，并明白指出，传统说法不能盲从，惟有通过实测，求其变化规律，才能得出可靠的结论。

到唐玄宗开元十二年(724)，作为太史监的南宫说，因制历所需，测量日影和丈量土地时，方实现了170年前刘焯的愿望，但所做比刘焯的设想更加周到。他们设立的测点，不是两点而是四点，见图4－12，共测了三段距离。这样既可减少误差，使结果更精确，还可粗略分析其变化的规律。同时，亦测各点北极出地高度，用做校核。





图 4－12　唐代大地测量的四个测点

南宫说选择的是“河南平地”[①]，便于丈量土地。采用工具和方法是“设水准、绳、墨、植表而以引度之”。[②] 即用绳子量度距离，用墨斗弹线连接测距，设立水准使绳子处于水平位置。量距过程中，为保持行进方向处于直线状态，使用标杆前后照准“以引度之”。这种测量方法要求颇高，已同近代平面测量所使用的方法相仿。近代用测钎插地以连接卷尺的测距，也使用小的水准管使卷尺取平，前进方向则利用三根红白色相间的测钎望准取直。两者几乎同一模式。

南宫说的测量结果，如表 4－5。

① 《新唐书・天文志一》。
② 《新唐书・天文志一》。

表 4—5　南宫说测量结果

测点	测量地点	今地域	夏至日影长度	测量相邻测点间距离	所测得距离折千米		实际距离(公里)	测得北极出地	北极出地差	今测纬度差(折古度)
					小尺	大尺				
1	滑州白马	河南滑县东旧滑县城	1.57 尺	—				35.3 度		
2	汴州浚仪	河南开封市区西部	1.505 尺 1.53 尺①	198 里 179 步	73.0	88.1	84.0	34.8 度	5 分	8 分
3	许州扶沟	河南扶沟	1.44 尺	167 281	61.7	74.5	83.3	34.3 度	5 分	7 分
4	豫州上蔡武津	河南上蔡西	1.365 尺	160 110	59.0	71.2	86.8	33.8 度	5 分	8 分
合计			影差 0.205 尺	全程 526 里 270 步	193.7	233.8	254.1	北极高差 1.5 度	1 度 5 分	2 度 3 分

从上表可知，自滑州白马至上蔡武津距离合计 526 里 270 步②，夏至日影长度总相差 2 寸零半分，北极出地高共差 1 度半。于是得测量结果为“三百五十里八十步而差一度”；③又，257 里 7 步余而影差 1 寸。

现在不妨把测量工作做一分析。据上节，唐小尺 1 尺在 24.41 厘米至 24.57 厘米之间，平均约为 24.5 厘米。这数值同宋代和岘景表尺 24.51 相等，与南宋明代天文仪器上测得的 24.53 厘米亦几相同。于此，南宫说的测量所得可折算出地理纬度今 360°制的 1°大致为：

$$(351\times300+80)\times5\times0.2451\times1.01458=131026\text{米}\approx131\text{千米}$$

地球是个三轴椭球体，测算地理纬度的弧长有多种方法。现从简按自然地理学常用的纬度 35°地方经圈 1°弧长 110940 米计，则南宫说的误差约为 15.3%。倘依南宫说石表 1 尺作 24.41 厘米，则测量误差为 15.0%。然而这样计算却大有乖于事实。

① 《新唐书·天文志》记为“一尺五寸三分”，《旧唐书·天文志》原文为“一尺五寸微强”。按，影长若以分为单位，不足一寸的微强当小于一分，现估以微有出头酌取 0.5 分。倘按寸以下微强计亦可视为即 1.53 尺。

② 1 里等于 300 步，1 步为 5 尺。

③ 《旧唐书·天文志上》《新唐书·天文志一》所记略同。



实际上滑州白马同豫州上蔡武津的纬度差并不是古度 1 度半，两地纬差实有 2°16′，即古度 2 度 3 分。论述这次大地测量的精度，只有按实际纬度差来评价，方才是合理和公允的。依此计算，南宫说所丈量子午线 1°的弧长按小尺计应为：

$$[(526\times300+270)\times5\times0.2451]\div2°16'=85462\text{ 米}\approx85.5\text{ 千米}$$

其误差为 23%。但倘改以大尺计算，则 1°的弧长实为：

$$[(526\times300+270)\times5\times0.2958]\div2°16'=103140\text{ 米}\approx103.14\text{ 千米}$$

这数值同每 1°弧长 110.9 公里相差 7.8 公里，颇为接近，误差仅 7%。这应该说是一个相当不错的好结果。虽然四个测点并不位于同一子午线，东西经差在两点间最大可达 12′[①]，但如测量距离而误差几乎达到四分之一，那是荒谬而不可想象的。因此南宫说测量所用尺度，并不是如历来所说那样用小尺，结论应是用大尺。又，若以纬差 1 度半来倒推唐代尺度，就更大谬不然了。

今按《中国地图册》[②]河南省及《中国历史地图集》[③]唐“河南道”，量得四个测点之间三段距离依次为 84.0、83.3 及 86.8 公里，同南宫说所量相比均依大尺计算，较为接近，见表 4—5[④]（图 4—13）。

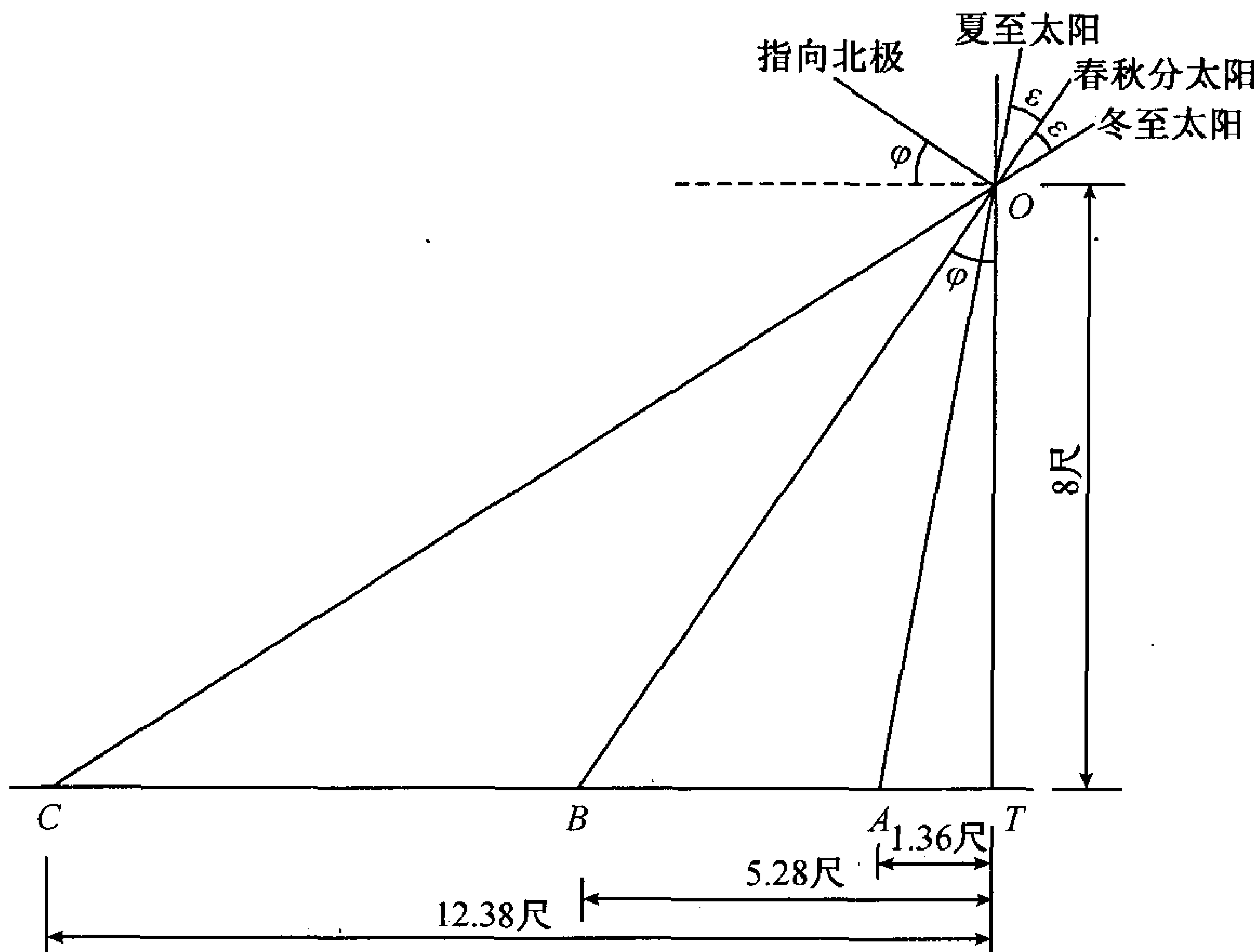


图 4—13 南宫说蔡州武津馆测影图



① 四个测点的经度，依次为东经 114°32′，114°20′，114°23′，114°13′～16′。选择的准确性颇高。

② 《中国地图册》，地图出版社，1966 年第 1 版。

③ 《中国历史地图集》第五册，中华地图学社，1975 年第 1 版。

④ 豫州上蔡的武津，具体地点尚难肯定。按，津的涵义，现姑分别取上蔡西古汝水东侧及上蔡两处，得纬度相同，经度略异。

下面再校算南宫说测影的精度。设 TO 为 8 尺表，OA、OB、OC 分别为夏至、春秋分、冬至日的正午太阳光线，TA、TB、TC 分别为分至日正午影长，则 $\angle TOB=$ 北极出地高度 φ，$\angle AOB=\angle BOC=$ 黄赤交角 ε。若晷影测量准确，则从算得的 $\angle TOA$、$\angle TOB$、$\angle TOC$（冬夏至与春秋分太阳的天顶距）可知：

$$北极出地高度=\angle TOB=\frac{\angle TOC+\angle TOA}{2}$$

$$黄赤交角=\quad \angle AOB=\angle BOC=\frac{\angle TOC-\angle TOA}{2}$$

南宫说与一行自然还不能做这类计算，但我们可借以验证测影的精确程度。按数学公式计算，加上太阳半径、大气折射与视差三项校正后，以武津为例得结果如下：

①$\angle TOA=\arctan\dfrac{TA}{TO}=\arctan\dfrac{1.365}{8}=9°41'$，校正后得$\angle TOA=9°57'$

②$\angle TOB=\arctan\dfrac{TB}{TO}=\arctan\dfrac{5.28}{8}=33°25'.5$ 校正后得$\angle TOB=33°42'.1$

③$\angle TOC=\arctan\dfrac{TC}{TO}=\arctan\dfrac{12.38}{8}=55°7'.8$，校正后得$\angle TOC=57°25'.5$

④$\angle TOB=\dfrac{\angle TOC+\angle TOA}{2}=33°41'.2$

⑤$\angle AOB=\angle AOC=\dfrac{\angle TOC-\angle TOA}{2}=23°44'.4$

现将滑州至上蔡四测站据影长算得的北极出地高度及黄赤交角列于表 4－6。

可以看出浚仪与扶沟两地的测影做得相当准确。计算所得，不论北极出地高度或黄赤交角，都同现今所测与计算所得相去甚微，只有 3′左右。白马与上蔡两地测影误差较大，这可能同测者的业务水平或认真的程度有关。因为短期内要在这些地点连续做多项测量，还要长途跋涉从事艰苦的大地测距，必然需分组进行。用复矩图所测北极出地高度，误差大都偏大，这种测量方法，毕竟太简单了。



这次大地测量，是世界科学技术史上的一项伟业。它的成功表明南宫说的成绩是辉煌的。他不单通过观测否定了日影千里差 1 寸的旧说，并且导致一行得出了许多有价值的结论和新的见地，诸如："率夏至与南方差少，冬至与北方差多。……凡晷差，冬夏不同，南北亦异，先儒一以里数齐之，遂失其实"，"极长之昼，其夕常明"，"……宇宙之广，岂若是乎？……今欲凭晷差以推远近高下，尚不可知，而况周天里步于不测之中，又可必乎？"[1]等。

---

① 见《新唐书·天文志一》。



表 4—6　北极出地高度及黄赤交角

测量地点	北极出地高度				复矩图所测与今测误差	测影所得平均值与今测误差	黄赤交角		
	复矩图所测折今制	据春秋分影长计算	据冬夏至影长计算	今测纬度			按影长计算	按今公式计算值	误差
滑州白马	34°48′	35°05′	35°02′	35°33′	－45′	－30′	23°40′		＋4′
汴州浚仪	34° 18′	34°47′	34°45	34°49′	－31′	－3′	23°39′		＋3′
许州扶沟	33°48′	34°09′	34°08′	34°04′	－16′	＋4′	23°39′	23°36′	＋3′
豫州上蔡	33°19′	33°42′	33°41′	33°17′	＋2′	＋25′	23°44′		＋8 ′

古代希腊亚历山大学派的厄拉多塞内斯(Eratosthenes,前 276—前 195),以及后来的波西当尼斯(Posidonius,前 133—前 49),都曾测量过地球上的纬度差,据以推算它的周长。但方法都是简捷而疏略的,并未做地面实测,计算亦都有较大的误差。在中世纪的巴格达天文台,阿耳・马蒙(Al・Mamun)曾命人在 814 年进行大地测量来验证托勒密(C. ptolemy)对地球圆周长度的估计,当时曾经在幼发拉底河北面两处平原测量过子午线的一段长度。所得数值不但密近,而且同托勒密的错误估计也相仿。因而学者们怀疑那时是否真做过独立的仔细测量。并认为那只是简单的验证而已。要等到 18 世纪时,方才有约克・卡西尼(J. Cassini 1677—1756 年)等法国学者进行从邓扣克(Dunkirque)列比利牛斯(Pyréenées)的占纬度约 9°的一大段实测,公布于 1720 年。因此,研究者普遍认为南宫说是世界上第一个从事大地测量的先驱者,他的实测确实是科学史上划时代的创举。



(撰稿人:潘鼐)

第六节　梁令瓒

一、生平简介

梁令瓒是唐代中期杰出的天文仪器制造家。由于《旧唐书》《新唐书》中均未给他立传,其生卒年份和有关的经历均无从查考。但在这两部史书的《天文志》中却均讲到,他在担任率府兵曹参军这一官职时与著名的天文学家一行合作,成功地设

计和制造了两种大型的天文仪器，表现了他在该方面非凡的才能。

梁令瓒又是一位画家。有人考证，现在珍藏在日本大阪市立美术馆的《五星二十八宿神形图卷》就出于他的手笔。图 4－14 为该图卷中的岁星神像。在图 4－14 右边的题字中有“奉义郎守龙州别驾集贤院待制仍太史臣梁令瓒上”的字样，提供了梁令瓒当时所任官职的确实资料①。



图 4－14　岁星神像（藏日本大阪市立美术馆）

梁令瓒是否在太史监工作过？没有直接的文献记载，但据以上所引“太史臣梁令瓒”的职务来看，却是主持过太史监工作的。“太史”即“太史令”或“太史监”的简称。作为旁证，《旧唐书·历志一》则称他为“星官梁令瓒”。“星官”应是太史监从事天体观测的官员，可见梁令瓒确是在太史监工作过的。大约梁令瓒在编订大衍历时显露出他在天文方面的才华，随后便进入太史监，担任星官的职务，以后又接替桓执圭任太史令。前面所述梁令瓒画的《五星二十八宿神形图卷》，也是他在天文学上所做的工作。

二、研制黄道游仪

天文观测工作是天文学发展的基础。在古代，人们为了编制较为精密的历法，就要尽可能准确地掌握太阳、月亮和五大行星的运动规律，这就需要进行大量的天文观测工作。天文观测仪器就是随着天文观测工作的需要而不断发展的。梁令瓒与一行合作，于开元九年(721)开始设计制造黄道游仪，就是为了适应当时编历工

① 野尻抱影：《星上东方美术》。



作的需要。

据《新唐书·天文志》记述："开元九年，一行受诏改治新历，欲知黄道进退，而太史无黄道仪，率府兵曹参军梁令瓒以木为游仪，一行是之，乃奏：'黄道游仪，古有其术而无其器，昔人潜思，皆未能得。今令瓒所为，日道月交，皆自然契合，于推步尤要，请更铸以铜铁。'十一年(723)仪成。"从这里可以看出，一行对梁令瓒的创造性设计给予了极高的评价，认为他解决了前人从未解决的问题，对天文历算工作具有十分重要的意义。从黄道游仪制造的过程来看，梁令瓒首先独立地进行了精心的设计，并制成了"甚为精密"[①]的木质模型，得到了一行的充分肯定，两人这才合作用铜铁制作正式的仪器。因此，黄道游仪基本上应该是梁令瓒的创作。

据《新唐书·天文志》记述，唐初著名的天文学家李淳风也曾经制造过一台附有黄道的浑仪。其主要部分是一系列互相衔接套叠的圆环和一根称为玉衡游筒的铜管。圆环上刻有有关的天文坐标，当玉衡游筒对准了所观测的天体时，在某些圆环上就可以读得相应的坐标。浑仪可分为表里三层，分别称为六合仪、三辰仪和四游仪。一行和梁令瓒合作制成的黄道游仪也采用了类似的形式。据《旧唐书·天文志上》与《新唐书·天文志一》中的有关资料可知，黄道游仪的主要部分由五只单环、两对双环(即两只并列在一起的圆环)和玉衡望筒所组成。从这些部件的相互关系来看，它们也可分为表里三层。

在黄道游仪的外层，是阳经双环、阴纬单环和天顶单环。它们相当于李淳风浑仪中的六合仪。所不同的是，李淳风的浑仪与现存于紫金山天文台的明代浑仪(见图4-15)类似，其六合仪中有一与天赤道相平行的金常规(图4-16)，这里用与卯酉圈平行的天顶单环代替了。阳经双环是竖直安放在南北方向上的，相当于当地的子午面。环上刻有周天度数，据此人们就可知道正过子午圈的天体相当于赤纬或天顶距的坐标。在双环之间相当于南北天极的地方挟持着枢轴，黄道游仪的中层和里层就可以绕着枢轴旋转。阴纬单环水平安放，用来象征地平面。它与阳经双环互相垂直平分衔接在一起。环上刻画有测定时刻用的周天百刻标志。因为它是象征地平面的，故环上也肯定要有表示方位的标记，虽然在有关的记述中没有提到这一点。天顶单环则竖直安放在东西方向上，分别与阳经双环、阴纬单环衔接。这三环牢固地衔接在一起，并与整个仪器的基座用铜柱相对固定，相当于地平坐标系统。



赤道单环、黄道单环与白道月环在黄道游仪的中层(图4-18)，与李淳风浑仪中的三辰仪是相同的。赤道单环与天赤道平行，环上列周天星度，可以据此读出所观测的天体的入宿度——我国古代相当于赤经的一种天文坐标。黄道单环与赤道

① 见《旧唐书·天文志上》。

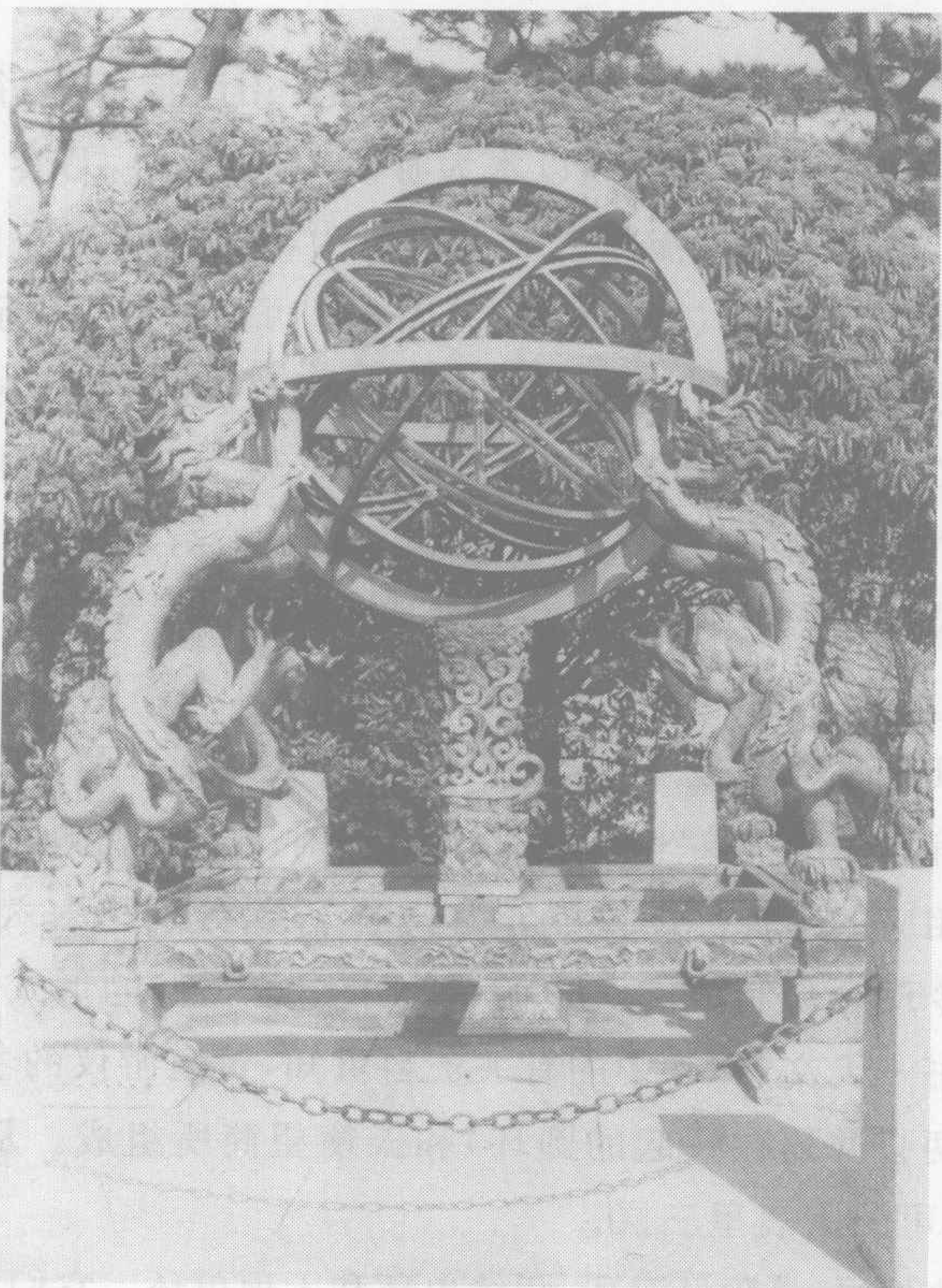


图 4—15　紫台明浑仪

单环成 24 古度(当时所采用的黄赤交角值)的交角。可以使其与黄道基本平行,用来观测太阳和五大行星的运行情况。环上也列有周天度数,可以读取类似于黄经的有关坐标。白道月环显然是用来观测月亮的运行情况的,它与黄道单环成 6 度的交角,可以调整到与当时月亮运行的轨道——白道基本平行。环上亦有周天度数,可以度量月亮的行度。这三只环都可以绕枢轴转动,这就需要将它们与枢轴联系起来。现存于紫金山天文台的明代浑仪,采用了两只通过南、北天极枢并分别通过赤道单环上的两分点、两至点的圆环(叫做两分圈环和两至圈环),使其与赤道环、黄道环互相联结和固定在一起(图 4—19)。这两个圆环可通过其衔接处的轴孔套在枢轴上转动,从而带动赤道环、黄道环转动。估计在黄道游仪中也必然有相应的结构来达到这个目的,虽然在有关的叙述中并没有提到这样的结构。据记述,在黄道游仪中的赤道、黄道、白道三环上均按度穿有小孔,通过小孔可使它们在相接处两两互相固定,也能使赤道环与六合仪在相接处相对固定。但由于这种固定只有两点,这些环都可以绕通过这两点的直径转动,并不能保证环间的夹角不变。要使它们完全相固,必然要采用相应的措施。



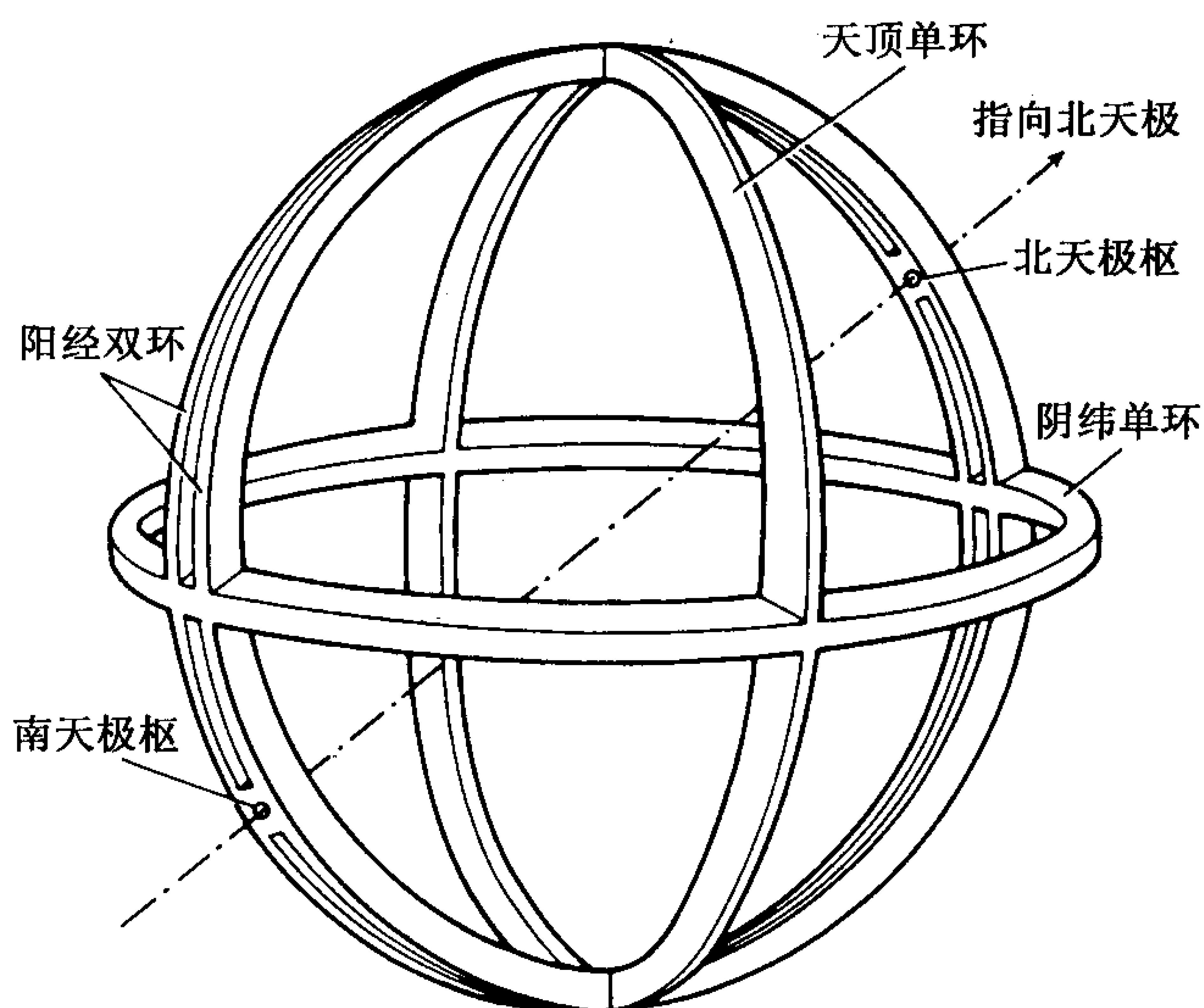


图 4—16　紫金山天文台明制浑仪

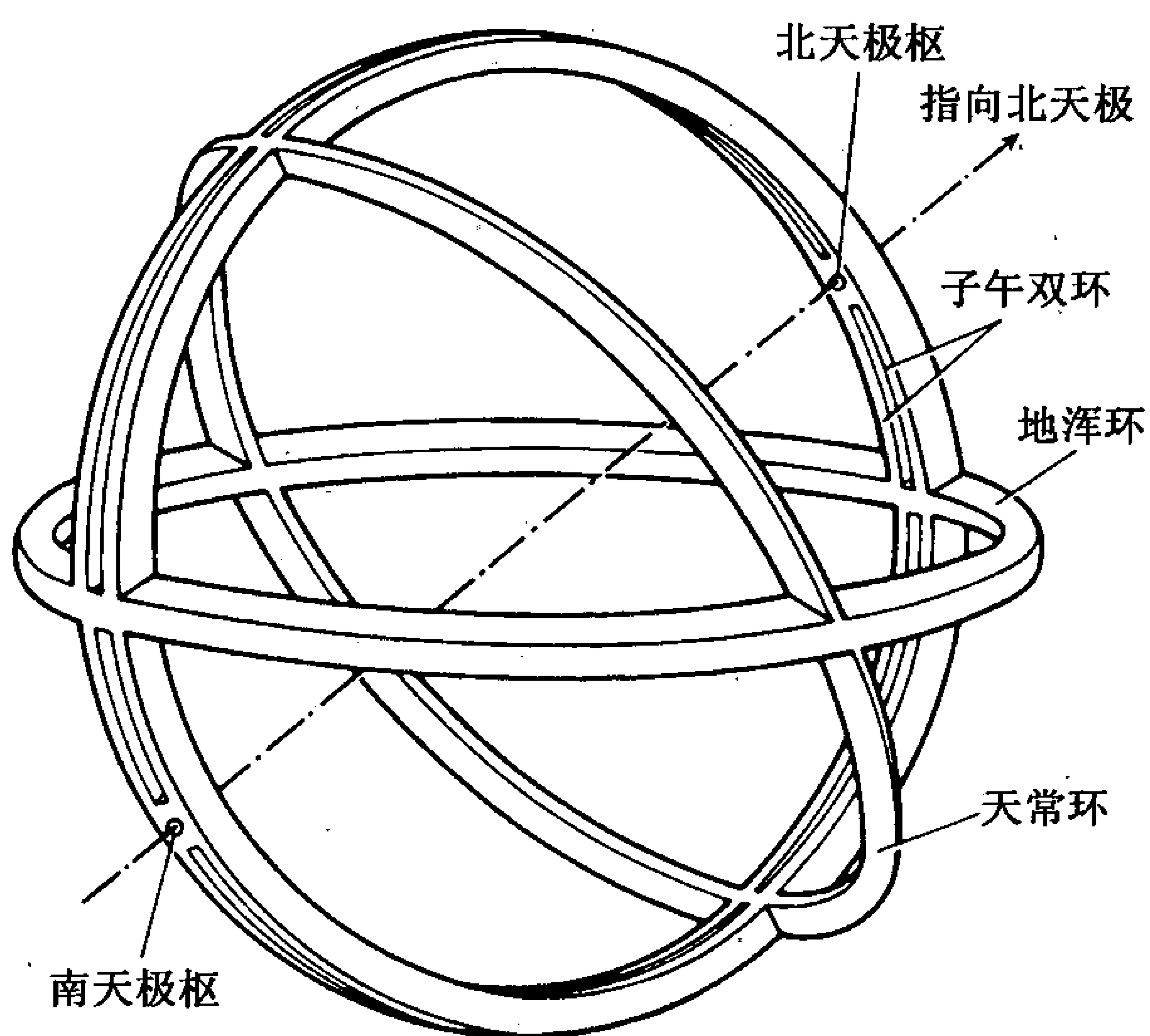


图 4—17　明制浑仪的外层——六合仪示意图



黄道游仪的里层相当于四游仪的部分包括旋枢双环和玉衡望筒两个部件(见图 4—20)。旋枢双环平行于赤经圈,它可以绕枢轴转动。环上也刻有周天度数。玉衡望筒夹在旋枢双环的中间,其中部有轴使其能绕旋枢双环的圆心处转动,这样就能使玉衡望筒对准天空中任何位置上的天体。根据玉衡望筒的位置,可以在旋

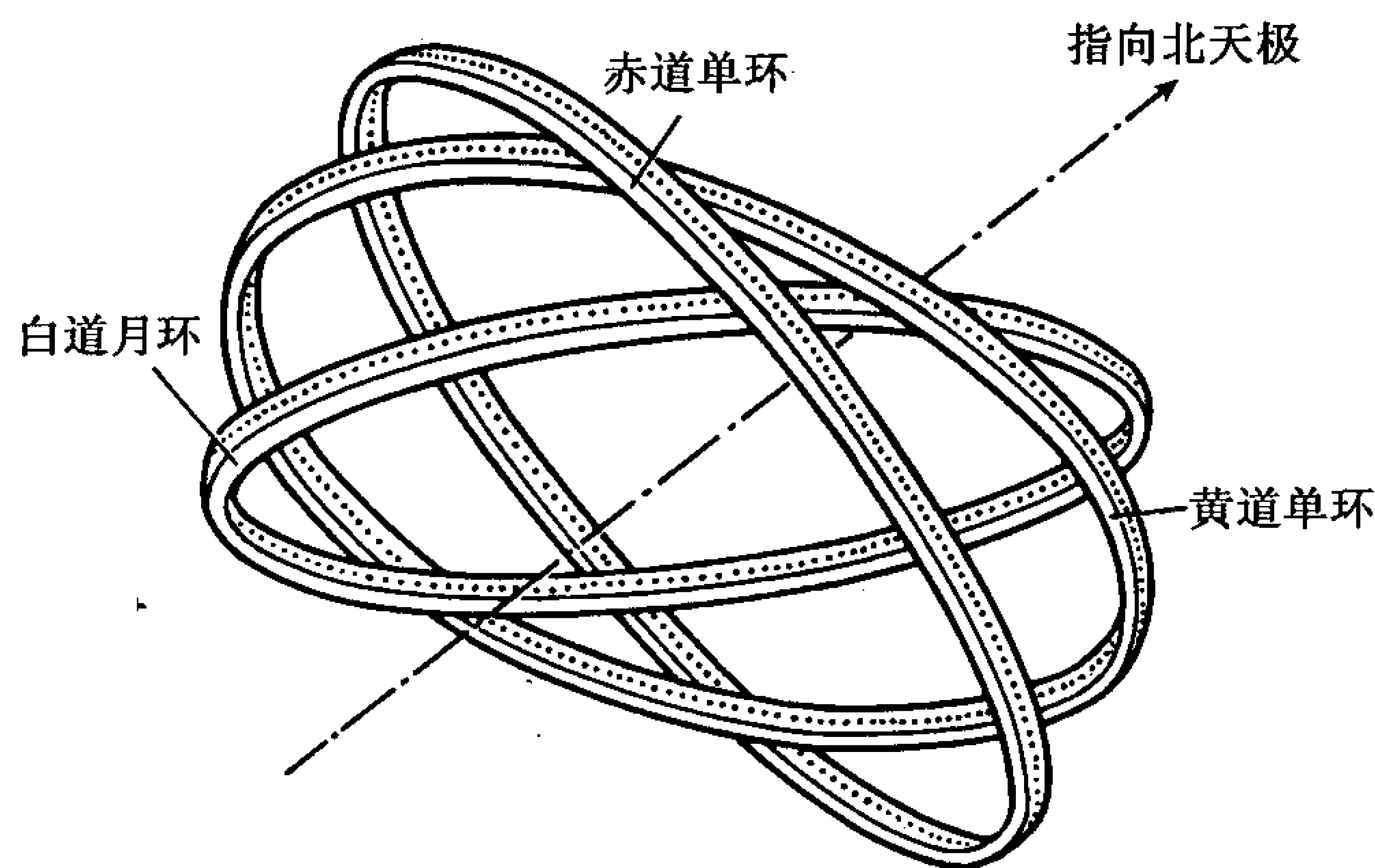


图 4—18　黄道游仪的中层——三辰仪示意图

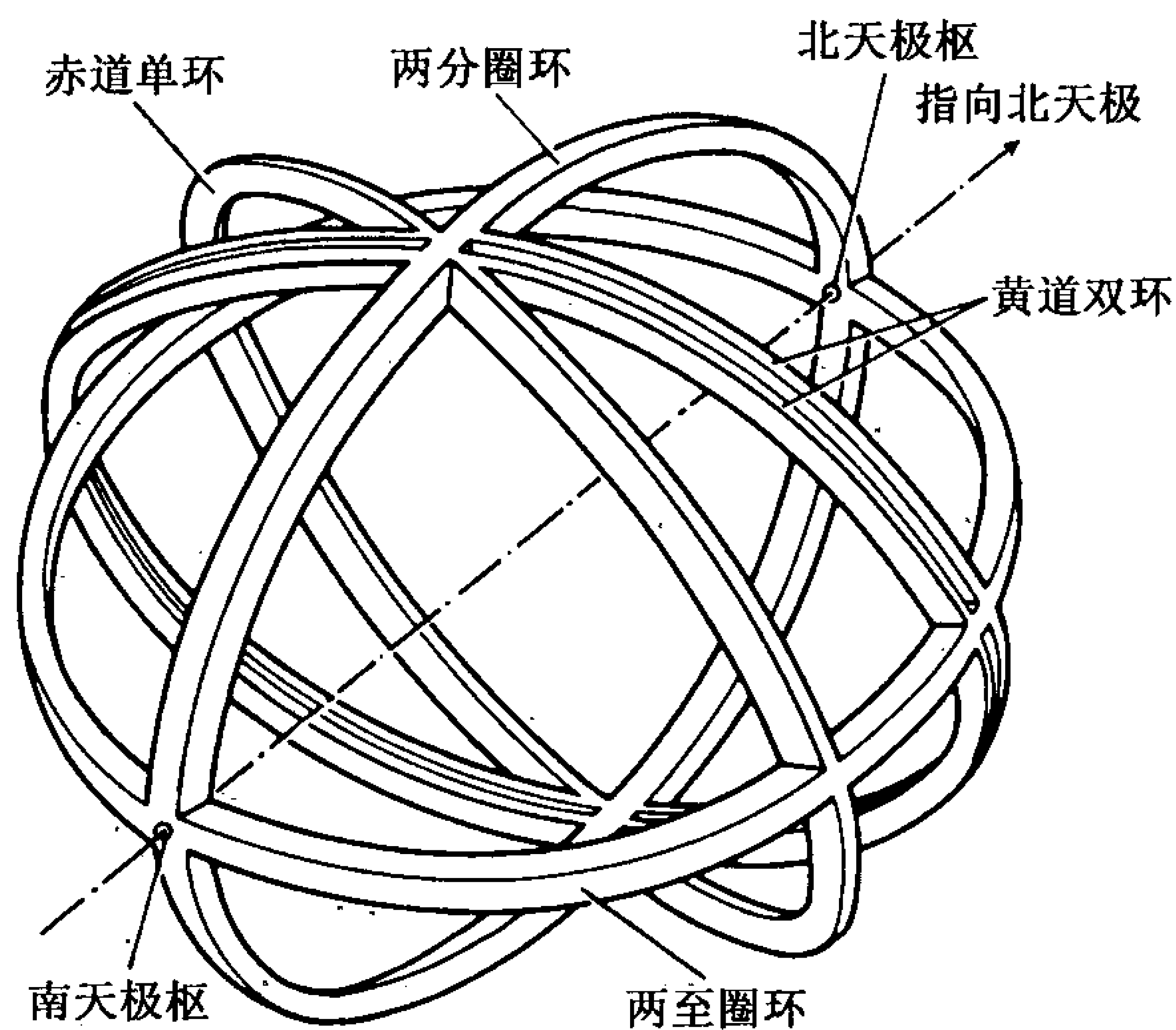


图 4—19　明制浑仪的中层——三辰仪示意图

枢双环上读取所观测天体的去极度，这相当于今天的 90°减去赤纬的数值。而根据旋枢双环的位置又可以在赤道单环上读出所观测天体的入宿度。玉衡望筒是一根内圆外方的铜管子，其内径所张角度为 1.5 古度，使在望筒中能观测到整个太阳的圆面，方便人们对太阳、月亮的观测。

根据有关的资料，表 4—7 列出了黄道游仪中主要部件的尺寸及有关情况。尺寸的单位均以唐代天文用尺为准。根据内径和环厚可以算得圆环的外径和周长，以与记载中的周长比较。计算值均精确到 0.01 尺。由表中可见，阳经双环、阴纬单环的内周长与赤道单环的周长均存在明显的文献记载错误。



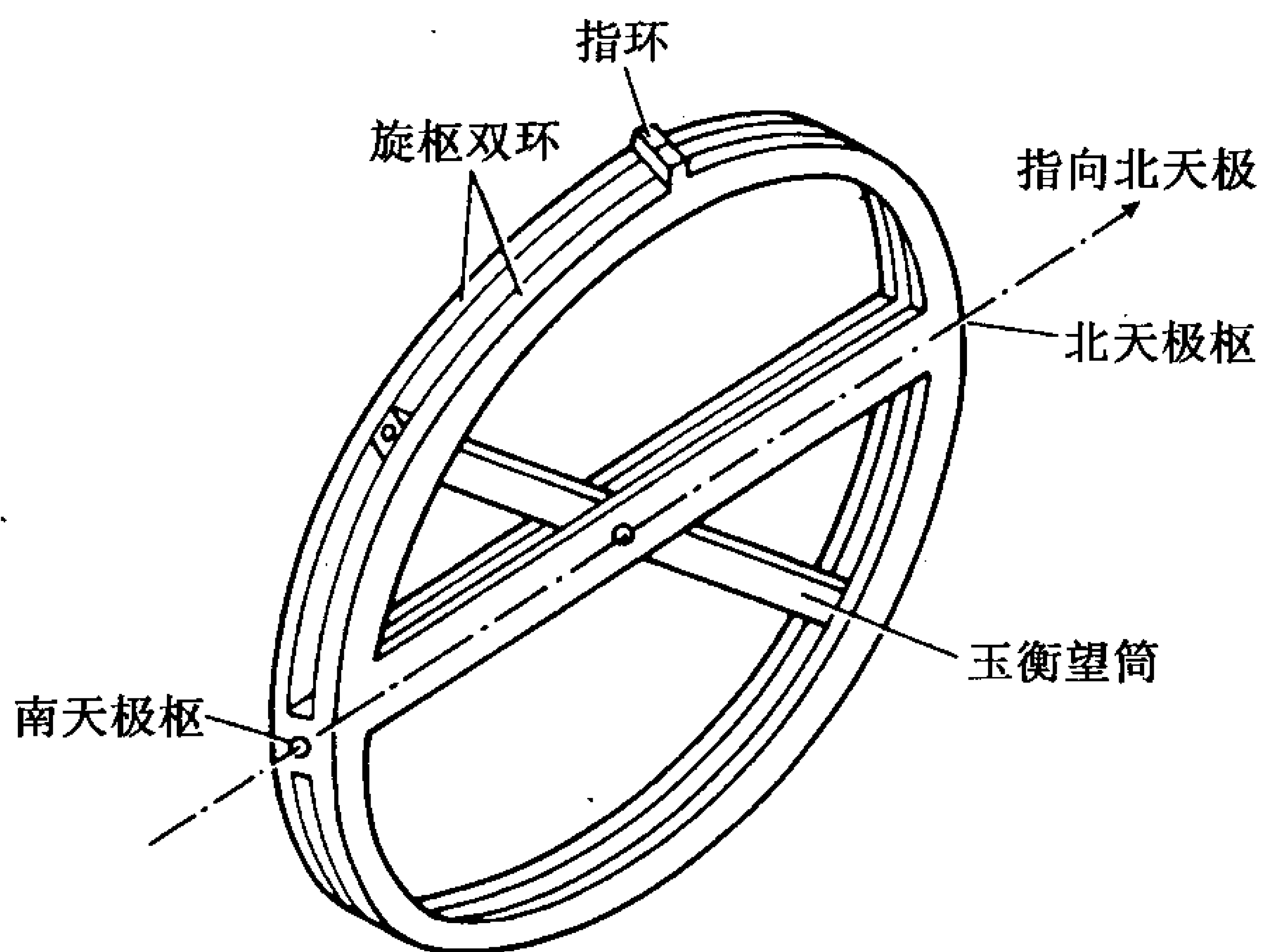


图 4—20　黄道游仪的内层——四游仪示意图

表 4—7　黄道游仪主要部件尺寸　　　　（单位为尺）

层次	层名	部件名称	对应的天文基本圈	记载中的尺寸					计算尺寸		
				内径	宽	厚	周长	内周长	外径	周长	内周长
外层	六合仪	阳经双环	子午圈	5.44	0.40	0.04	17.30	14.64	5.52	17.34	17.09
		阴纬单环	地平圈	5.44	0.40	0.04	17.30	14.64	5.52	17.34	17.09
		天顶单环	平行于卯酉圈的小圆	5.44	0.08	0.03	17.30		5.50	17.28	
中层	三辰仪	赤道单环	天赤道	4.90	0.08	0.03	14.59		4.96	15.58	
		黄道单环	黄道	4.84	0.08	0.04	15.41		4.92	15.46	
		白道月环	白道	4.76	0.08	0.03	15.15		4.82	15.14	
里层	四游仪	旋枢双环	赤经圈	4.59	0.04	0.03	14.61		4.65	14.61	
		玉衡望筒		长　4.58，宽　0.12，厚　0.10，孔径　0.6							

从以上的叙述可知，黄道游仪与以前的浑仪有很多相似的地方，但并没有完全因袭，在某些重要方面都做了改进，使其结构更趋合理，从而更加适宜于对太阳、月亮的观测，更好地为编历工作服务。除了上面已经讲过的它用了旋枢双环，能更方便地读取有关坐标外，还具有一些比较合理的结构特点。



在圆环上除了刻画有周天度数外，还加了相应的钉状凸起标志或穿有小孔[①]，在夜间光线不足的条件下，人们通过手摸就可以方便地知道被观测天体的有关坐标了。

天顶单环的位置是："东西当卯酉之中稍南，使见日出入。"[②]这样在春秋分时观测太阳的出没就不会受到该环的遮挡，对决定节气是有利的。这种对某些环的位置稍做平移以利于观测的方法，在历史上可能还是第一次使用，是一种创造。北宋著名科学家沈括在他所写的《浑仪议》中就讲到过："旧法黄赤道平设，正当天度，掩蔽人目，不可占察。其后乃别加钻孔，尤为拙谬。今当侧置少偏，使天度出北际之处，自不凌蔽。"[③]就是将上述方法应用于黄、赤道环。元代郭守敬所创制的简仪中分别将赤道环、阴纬环移到其圆心与四游环、立运环的圆周相切的位置上，是对这种办法的进一步发展。

考虑到岁差的影响，黄道游仪的赤道环上不但列有二十八宿的位置和周天度数，还每度穿一小孔，可以按照当时的实际情况来确定赤道环上哪些小孔对应于分至点。也即能使黄道环按照当时人们对岁差现象的理解那样，沿着赤道环从东向西缓慢移动[④]。这样，黄道游仪就能够大体上适应岁差的变化，可以在较长的时期内运用。黄道游仪也就是由这一最突出的结构特点而得名。

黄道单环"上列三百六十策，与用卦相准"[⑤]，这相当于今天人们通用的将一个圆周划分为 360°的做法。由于 360°能被 24 所整除，利用黄道环上的这些标志就可以比较方便地认定表示二十四个节气的标志点，这对根据太阳在黄道上的位置决定当时的节气是有利的。另外，在黄道游仪中还将黄道环与时刻联系在一起："而极画两方，东西列周天度数，南北列百刻，使见日知时，不有差谬。"[⑥]但由于记述十分简略，它是不是一种根据观测时刻来安放黄道环，从而得到太阳在黄道上的位置以决定节气的方法，尚有待于进一步探讨。



黄道单环上也每度穿一孔穴，可以根据黄白交点的实际位置来随时改变白道月环与其相交的位置，亦即可以模仿黄白交点的退行。这与李淳风的浑仪"傍列二百四十九交，以携月游"[⑦]的做法不同。由于黄白交点沿黄道逆行一周，并不正好是 249 个交点月，李淳风将黄道环上黄白交点的位置按交点月逐次移动，249 个交点月恰移一周，这个方法并不十分精确。在数十年的时间内就可能积累成较大的

---

① 《旧唐书・天文志上》："两面各画周天度数。一面加钉，并用银饰"、"度穿一穴"。
② 见《旧唐书・天文志上》。
③ 见《宋史・天文志一》。
④ 《旧唐书・天文志上》："仍度穿一穴，随穴退交，不有差谬。""拟随差却退，故置穴也。"
⑤ 见《旧唐书・天文志上》。
⑥ 见《旧唐书・天文志上》。
⑦ 见《旧唐书・天文志上》。



误差。黄道游仪采用了逐度移动的方法，不但方法简便，而且能使黄白交点在黄道环上的位置与实际情况的偏离控制在较小的范围(半古度)之内。

当然，在黄道游仪上也有某些不尽合理的地方。例如测定时刻用的昼夜百刻标志不是放在与天赤道相平行的固定圆环上(黄道游仪中没有这样的环)，而是放在水平安置的阴纬单环上，“如此，辰刻不能无谬”[①]。但综观全仪，它确实有不少切实有效的改进，比以前的浑仪更为实用。从有关的记述可知，除了观测太阳、月亮的位置外，人们还利用黄道游仪对恒星的坐标进行了广泛的测量，取得了大量的数据，为我国古代天文学的发展作出了贡献。

三、制造浑天铜仪

梁令瓒与一行合作制造的另一台重要的天文仪器是浑天铜仪，实际上是一种用水力带动的天文演示仪器——水运浑象。与以前的水运浑象类似，其主要部分也是一只用来象征天球的大圆球，上面有很多用来表示恒星位置的标志点；也有代表天赤道等的标志线，上面标有周天度数；圆球放在一个大柜中，只有半个球面露在柜外，就好像人们看到的天穹；在柜中有一系列的机械传动装置，用漏壶中流出来的水带动，使大圆球绕一与北天极方向平行的轴转动。调整其转动速度，使与恒星的周日视运动速度相仿，这样就可以在浑象上看到恒星东升西落的运动情况。如在圆球上标志出太阳、月亮和五大行星当时在恒星之间的位置，则演示的内容就更丰富了。由于水运浑象的运转基本上是均匀的，根据太阳在浑象上的位置就可以知道当时的时刻，所以它们实际上都相当于一台机械钟表。虽然浑天铜仪在工作原理、外形、结构和演示内容上都与以前的水运浑象基本上类似，但它还是有某些独创之处。



浑天铜仪在用来象征天的大圆球上“外络二轮，缀以日月，令得运行。每天西转一币，日东行一度，月行十三度十九分度之七，凡二十九转有余而日月会，三百六十五转而日行币。仍置木柜以为地平，令仪半在地下，晦明朔望，迟速有准。”[①]它形象而准确地演示了日月运行的实际情况，精密地表现了回归年和朔望月的周期，这比以前的水运浑象前进了一大[②]步，表明其机械传动结构更加复杂，充分显示了其工艺水平的高超。有人根据《宋史·天文志一》中对张思训制造的水运浑象的介绍：“按旧法，日月昼夜行度皆人所运行，新制成于自然，尤为精妙。”认为一行、梁令瓒的浑天铜仪上日月的运行是由人工移动来实现的。看来这是存在问题的。上面引述过“外络二轮，缀以日月，令得运行”，表明这两只轮不与大圆球相对固定，是可

① 见《宋史·天文志一》。

② 见《新唐书·天文志一》。

以运行的。而从所列日月的运行速度和“晦明朔望，迟速有准”的评价来看，这两只轮均非由人工移动的。因为人工移动总能使日月的位置与实际情况完全符合，也就不存在“晦明朔望，迟速有准”的问题了。当然也不会采用“日东行”、“月行”这样有主动意味的字眼了。所以，浑天铜仪中的日月应是由机械带动运行的。

浑天铜仪中首先采用了自动报时的装置：“又立二木人于地平之上，前置钟鼓以候辰刻，每一刻自然击鼓，每辰则自然撞钟。”[①]可见，这是一种用声响信号进行自动报时的装置。人们听到声音就可以方便地知道当时所处的时刻，这是以前的水运浑象中所没有的。可以认为它是世界上机械自鸣钟的鼻祖。

据《旧唐书·天文志上》记述，浑天铜仪“皆于柜中各施轮轴，钩键交错，关锁相持。既与天道合同，当时共称其妙。”可知它的结构相当复杂精巧，使其运行取得了良好的效果。这里提到了一些有关部件的名称：轮、轴、钩、键、关、锁。其中的关、锁与宋代苏颂、韩公廉所制的水运仪象台中相当于擒纵装置的部件名称相似。顾名思义，关、锁有阻止水运浑象中转动部件运动的作用，“关锁相持”看来也就是这个意思。但这种阻止只能是间歇性的，否则水运浑象就无法正常工作。也即关、锁对转动部件的作用是擒与纵交替的，这就和现代机械钟表中的擒纵装置的作用完全类似了。上面所引的这段记述，实际上是我国古代在水运浑象中使用了类似擒纵装置的最早记录，充分显示了我国古代劳动人民卓越的创造能力，在世界钟表的发展史上具有十分重要的地位。英国剑桥大学的著名学者李约瑟博士在他所著的《中国科学技术史》一书中，充分肯定了一行和梁令瓒这一具有重大意义的创造。他说：“公元 725 年却出现了新的进展，当时一行和梁令瓒发明了一种擒纵器，把浑仪的转动和几种机械装置联结起来，这种装置实质上就是最早的机械时钟。”“因此，从 8 世纪初起，这种仪器正是以巨型天文钟的形式，走在欧洲 14 世纪第一具机械时钟的前面。”



可惜的是，一行和梁令瓒合作制造的浑天铜仪并未能长期使用下去：“无几而铜铁渐涩，不能自转，遂收置于集贤院，不复行用。”[②]

综上所述，梁令瓒在天文仪器的制造上确实作出了卓越的贡献。他与一行合作制造的两台大型天文仪器，结构合理精巧，使用方便，功能较全，精度尚高，有不少新的创造，在天文仪器和机械钟表的制造方面写下了光辉的一页。在合作的过程中，梁令瓒起了相当重要的作用。他确是一位杰出的天文仪器制造家。

（撰稿人：郭盛炽）

---

① 见《旧唐书·天文志上》。
② 见《旧唐书·天文志上》。



第七节　曹士蒍

一、生平简介

史书中关于曹士蒍的记载极少。《新唐书・艺文志》仅说"曹士蒍《七曜符天历》一卷，建中时人"。南宋陈振孙《直斋书录解题》说："《罗计二隐曜立成历》一卷，称大中大夫曹士蒍，亦莫知何人，但云起元和元年人历。"[①]

据这两条记载我们可以得知，曹士蒍曾于唐德宗建中年间(780—783)造符天历；后来又造《罗计二隐曜立成历》，以宪宗元和元年(806)为历元。后者的制定时代不早于元和元年，因此，曹士蒍的学术活动年代大致应在唐德宗、顺宗、宪宗时期(780—820)。

周济认为，曹士蒍是唐昭武九姓的后裔[②]，这一说法也许是有道理的。昭武九姓原为月氏人，住在昭武城(今甘肃张掖)，后移居葱岭一带。唐太宗时，昭武九姓随西突厥一起归唐。其中有许多人流寓长安，曹士蒍可能就是他们的后裔。他们从西域带来印度系统的天文历法知识，在长安时又深受汉族传统文化的影响，从而奠定了曹士蒍制定符天历的基础。

在唐朝中晚期，昭武九姓有一定的势力，为了笼络这批人，唐朝政府不得不给以一定的官职。曹士蒍担任大中大夫这个有较高地位而无实权的职务，可能正是出于这种考虑。

二、曹士蒍的天文历法著作



据《新唐书・艺文志》，曹士蒍著《七曜符天历》一卷、《七曜符天人元历》三卷。在《通志》、《宋史》和《文献通考》等史书也有类似的记载，但历法的著作名称和卷数各有差异。名称虽有差异，可能都是指曹士蒍的同一历法著作。标题为后人所加，卷数也是后人分判，故有此差异。曹士蒍的历法著作简称《符天历》，但是它主要用于推算七曜行度，同时也以七曜作为纪日的周期，所以又可具体称为《七曜符天历》。它以雨水为岁首，雨水在寅月，按照中国的传统，以子、丑、寅月为岁首时，可称为天、地、人正，所以符天历又可称为《七曜符天人元历》。马端临《文献通考》所载曹氏撰《合元万分历》，则又是符天历以 1 万为日法的特点给以命名的。

"曜"一般是指能够在恒星间运动的天体，七曜即是指日、月和五星。从《七曜

① 《直斋书录解题》卷十二，阴阳家类。

② 《曹士蒍及其符天历》，《历史学》，1979 年，第 1 期。

符天人元历》的名称，即可得知其涉及的内容和范围。它包括日、月、五星运动方位的推算和民用历书中朔望节气的安排。其历元设在唐显庆五年(660)庚申。

看来，曹士蒍在建中年间制定符天历时，并不包括日月食的推算和预报。因为天竺历在推算日月食时，总是先算出罗计二隐曜(黄白升降交点)的方位，然后再与朔望时日月的方位相比较，依据食限的规定，便能判断出有无交食发生以及交食发生的状态。包括罗计二隐曜推算在内的历法，便称为九曜历或九执历。符天历只称七曜，可能不包括罗计在内。

然而，据陈振孙《直斋书录解题》记载，曹士蒍还著有《罗计二隐曜立成历》一卷，元和元年入历。可是曹士蒍的《七曜符天历》与推算日月交食的历法是分开的。从推算交食的历元即能得知，这两历制定的时代相距 20 余年以上。前者的历元在显庆五年(660)庚申，后者的历元在元和元年(806)丙戌。

在《宋史·艺文志》中，还载有《曹士蒍·符天经疏》一卷、《符天通真立成法》二卷、《天文秘诀》二卷、《天文经》三卷、《天文录经要诀》一卷。这些著作都已散失，仅存书目。从题义看，《符天经疏》是对符天历所作注解，《符天通真立成法》是捷算的数表，后三部书的内容属于星占。这些文献，不一定是曹士蒍的著作，而可能是后人研究曹士蒍天文工作的论著。近年来，日本学者在多多良保佑(1708—1784)于1765 年编纂的《天文秘书》卷六四中，发现了符天历的残篇《符天历经日躔差立成》(图 4—21)的抄本，并对它进行研究，写出了好几篇很有价值的研究论文[①]。新发现的这一符天历的残篇，虽然仅为符天历中推算日躔的盈宿数表，但这无疑是一项重要的发现，对于进一步推动符天历的研究是很有意义的。在日本新发现的这一残篇，可能就是《宋史·艺文志》所载《符天通真立成法》的一部分，至少在内容上说是与此相当的。

这里再顺便讨论一下有关符天历的作者和创始年代的不同说法。《新唐书·艺文志》和《新五代史·司天考》是记载符天历的最早历史文献，因此，符天历为曹士蒍所作应是没有问题的。但《宋史·艺文志》除载曹士蒍撰符天历以外，还载有“杨伟(一说杨纬)《符天历》一卷”、“祖晅《符天经》一卷”、“瞿昙悉达《符天五德定分历》三卷”、“徐昂《符天九星算法》一卷”、“李思议《七曜符天历》一卷”、“李思议《重注曹士蒍小历》一卷”等。有人据此推测，如果不是托名，符天历应与祖暅有关，所谓曹士蒍撰符天历，仅是发挥祖暅《符天经》的著作。我们以为这种推测是不能成立的。《宋史》是 14 世纪元人的著作，而杨伟是 3 世纪人，祖暅是 6 世纪初人，在元

---

① 《天文秘书》藏天理图书馆。日本学者研究符天历的主要论著有桃裕行《符天历について》，中山茂《符天历の天文学史的位置》，同载《科学史研究》71 号，1964 年；薮内清《唐曹士蒍の符天历について》，《ビブリア》，78 号，1982 年。

符天曆經日躔差立成一卷
日躔差法經文尚簡非久習者致或難了
固命新張立成得其意定華即固經朔弦
望中日度分以差積度分盈縮減為定
日度分其後每日累加一度若盈縮曆一度
已上訖十二度已下以差率盈加縮減九十三度已上
百八十二度已下者以差率盈減縮加次日定度分也

图4－21　《天文秘书》中《符天历经日躔差立成》之首页（藏日本天理图书馆）

以前的史书中从未见有他们著符天历的记载，它也与《新五代史·司天考》“初唐建中时术者曹士蒍始变古法”的记载相矛盾，可见说杨伟、祖暅著符天历是不可信的。另外，中国史书中明载日行盈缩是北齐张子信隐居海岛时发现的，隋唐时才开始用日行盈缩制历，杨伟、祖暅都在张子信以前，而符天历有日行盈缩的推算方法，可见符天历不可能是杨伟、祖暅制造的。瞿昙悉达曾汇编了一部巨著《开元占经》，其中收有一些历法文献，他自己的译著《九执历》也收在其内。他若著有符天历，那是一定会收在《开元占经》中的。在开元年间检验诸历疏密时，用的是大衍、麟德和九执三历，而不是符天历。可见符天历也不可能是瞿昙悉达所造。至于徐昂、李思议的工作，主要是对曹士蒍的符天历进行改编和注释。祖暅、吕才对漏刻都有研究，所谓《符天经》、“符天定时”，可能是指漏刻计时，与符天历毫无关系。所引《曹士蒍符

天经疏》,不应理解为曹氏本人的著作,而是后人对曹氏《符天历》所作的注疏。

三、符天历在官方历法中的应用

《新五代史·司天考》说:"唐建中时,术者曹士蔿始变古法,以显庆五年为上元,雨水为岁首,号符天历。世谓之小历,只行于民间。(马)重绩乃用以为法,遂施于朝廷,赐号调元历。"

以上是中国古代文献中关于曹士蔿符天历最详细的记载,以往研究符天历的学者,大多以这段记载为依据,并不认为符天历曾受到外界的影响。由于它不用上元积年,所以被贬为小历,得不到官方的承认,而只用于民间。

这些议论多有不准确的地方。前面我们已经指出,符天历是受到天竺历影响的。关于这点后面还将做出证明。外来文化常常受到传统文化的抵制和排斥,所以被贬为小历。另外,符天历只用于民间的说法也不准确。

据《宋史·艺文志》有"徐昂《符天九星算法》一卷",可知唐元和以后的历官已开始研究曹士蔿的符天历。

《新五代史·司天考》关于符天历"只行于民间"的说法,可能只是指唐代,并未说以后也只行于民间。许多事实证明,五代时官方是应用过符天历的。今先讲石晋马重绩造的调元历。《新五代史·司天考》说:"至晋高祖时,司天监马重绩始更造新历,不复推古上元甲子冬至七曜之会,而起唐天宝十四载乙未为上元,用雨水为气首。……符天历……只行于民间,而重绩乃用以为法,遂施于朝廷,赐号调元历。"这段记载说出了调元历与符天历的关系。与符天历一样,调元历没有留下文献记载,但设立近距历元和以雨水为岁首则是共同的。所谓"用以为法",即是指其基本的计算方法与符天历相同。不仅如此,大概调元历的基本数据也大多取自符天历,仅调整了历元而已。《旧五代史·历志》引载马重绩给晋高祖上的历表中载有"立成十二卷",立成是西方系统历法中的速算数表,中国唐宋以前的传统历法中是不用其名的,由此也可证明调元历确与符天历有关。



调元历只用了5年,又复用唐末的崇元历,但看来当时也是崇元和符天参用的。周世宗时,王朴造钦天历。《旧五代史·历志》引载他给周世宗的奏议说:"臣检讨先代图籍,今古历书,皆无食神首尾之文,盖天竺胡僧之妖说也。只自司天卜祝小术,不能举其大体,遂为等接之法。盖从假用以求径捷,于是乎交有逆行之数,后学者不能详知,便言历有九曜,以为注历之恒式,今并削而去之"。

从王朴的奏议可以看出,直至周世宗接位时,在官方颁布的历书中,一直都将九曜作为历注的恒式,每月都载有食神首尾的方位,由于王卜反对,才提议将这些内容削去。他把用食神首尾推算交食的方法,称之为天竺胡僧的妖术,是司天卜祝



的小术，不能作为官方的历法。他的这段批评意见，与前人对于符天历的批评意见是一致的，可见符天历在官方历书中的影响是不能低估的。

调元历被石晋政府废而不用之后，并未从此湮没，它仍被辽国行用了48年。可见符天历的影响是很深的。符天历是通过吴越国传到日本的，但史书中未载吴越国使用什么历法，据日本《大宰府神社文书》的记载来看，当时使用的可能就是符天历。符天历传入日本以后，便立即被日本官方所采用，与宣明历参照编制历法。符天历在日本的影响也很大。

四、从《符天历经日躔差立成》看符天历

至今仍有一些学者认为符天历纯粹是中国传统的历法，只不过做了以雨水为历元、以历分为日法、废除上元积年的改革而已，也可能使用简易的算法，所以被贬为小历。但日本天理图书馆所藏的《符天历经日躔差立成》(见表4－8)，却反映出符天历的一些基本特征。《日躔差立成》表是一份新发现的珍贵的历法文献，为了供读者进一步研究，也为了讨论方便起见，笔者对这份表做了校订，改正了少数传抄错误的数字，附录于后。原表列出了太阳从0度(近地点)到182度(远地点)每度的盈缩度数和差积度数，有日行最速到日行最缓整个半周的数值，从最缓到最速其余半周的数值与此完全对应，所以也就省略了。但实际上，从0度到91度间太阳实行比平行多行的数值，与从91度到182度间太阳实行比平行少行的数值也是完全对应的。因此《符天历经日躔差立成》(下简称《立成》)，表只需列出从0度到91度的数值即可。表4－8所载，即省去了从91度到182度的部分。

此《立成》开头的说明文字说："中日度分，以差积度分，盈加缩减，为定日度分。其后每日累加一度。"意思就是说，要求某一天在太阳实际行度，只需从近地点开始，每天加一度，作为中日(日平行)度分，再以差积度分，与其盈加缩减。前半周以中日度分加差积度分，后半周以中日度分减差积度分，即得太阳实行。

此《立成》以365度余为周天度数，每度为100分，每分为100小分。逐度进行计算，较为简便。所用历算名词也较通俗，这是符天历受到人们欢迎的一个重要原因。

关于表中差积度数和盈缩度数的来历，在此《立成》末尾有一段日文说明文字，较晦涩难懂，中山茂对此做了正确的解释。他指出，平黄经 l 与真黄经 λ 之差为太阳黄经的正弦函数，应符合 $\lambda-l=A\sin l$。符天历使用了经验公式：

$$\lambda-l=\frac{1}{3300}l(182-l)(\lambda-l)$$

即等于《立成》中的差积度数，而盈缩度数则是相邻两差积度数之差。检验各项差积度数，确实与公式相等。由于公式中半周的度数取为182，可知此表只适用



于中国系统的历法。

分析此《立成》表，可知它取 2.5094 度为盈缩大分，它优于麟德历(2.77 度)，而比大衍历(2.42 度)和九执历(2 度 14 分)略差。其他盈缩数都可由盈缩大分导出，西方用正弦函数，此《立成》依中国的传统，用二次差内插法。以这二种方法进行比较，可推得其最大误差为 7.7 分，即最大误差仅为 5%。这对于古代擅长代数的民族来说，还是行之有效的。

以上求盈缩积的公式是依据中国的传统，假设日行至 91 度时盈缩积最大，182 度时最小导出的，故取分母为 3300(近似值)。为依西方系统，取 90 度为最大、180 度最小，同样也可以二次差导出，只是不同而已。

此《立成》表开头说明文字中有“日一时分八分卅三”的记载。按中国的天文学传统，1 日分为 12 时，1 时分为 8 分 33 小分，即意味着符天历将 1 日分为 100 分，又将 1 分分为 100 小分。因此，符天历的度和日，都以 100 为分母；分下再设小分，也以 100 为分母。它取法于南宫说的神龙历，这就是万分历的含义。由此可以推知，符天历推算九曜，也必然采取类似的划分方法。有人强调符天历是中国南北朝时的古法，1 时等于 8 刻 20 分，则 1 刻必为 60 分，这就不可能是万分历了。此《立成》的记载，证明这种意见是不正确的。

根据《立成》和《大宰府神社文书》记载，日延和尚在吴越国司天台学习后，于 957 年将符天历传入日本。995 年，奈良兴福寺和尚将《符天历经日躔差立成》整理抄写成文。1230 年，又由约童令重新抄写。日本江户时代改历时，安平叔又于 1756 年将原文修补后收入《天文秘书》，才保留到今天。



五、符天历的主要特点和成就

分析中日有关符天历的文献，其主要特点和成就有以下几个方面。

1. 不用上元积年

符天历不用上元积年，以唐显庆五年雨水为历元。随着历法的进步，推算上元积年利少弊多。但中国传统的历法大多因循守旧，积习难改。正因为符天历受到印度天文学的影响，它就比较容易突破中国传统天文学的束缚，不用上元积年。马重绩在历表中阐述不用上元积年的理由时说：“自古诸历，皆以天正十一月为岁首，循太古甲子为上元。积岁弥多，差阔至甚。臣改法定元……取唐天宝十四载乙未，立为近元，以雨水正月朔为岁首。”马重绩的话大致可以代表曹士蒍的观点。

日本学者认为，显庆五年雨水为正月三日甲辰，而正月朔日为壬寅，相差 2 日，这证明符天历显庆五年的历元，并不是气朔相合。至于“雨水为岁首”的记载，应是“气首”之误。历元与制历时间相距 120 年整，又与九执历的历元显庆二年相近，被



认为是选作符天历历元的依据。

这一观点实难令人赞同。它既然将历元设在制历前120年,就决不可能是截元。它既称以雨水为岁首,就必然是气朔相合。当然,如果以精密数值推算,显庆五年正月气朔确实相距两天。但我们至今并不知道符天历所用岁实和朔望月的确切数值,因此,显庆五年正月气朔不同时的结论自然是不能成立的。由于符天历受天竺历的影响,其岁实和朔望月的数值也应与同期天竺历相当。印度古历所用朔望月的值很精密,但所用年的长度却很不准确,顾观光推得《九执历》的年长为365.2762日,称为"亘古未闻"。印度古代名历"苏利亚"所用年的长度为365.25875日,也比真值大了许多。如果将365.25875日作为符天历岁实的长度,从建中元年上推120年,节气的误差正好积累两天,则显庆五年正月正好气朔同时,由此可见,符天历所用岁实的长度应与苏利亚历大致相当。印度历法近于西方系统,它不用十二生肖而用七曜纪日,日曜日为星期纪日周期之首。而显庆五年正月朔正逢日曜日。可见显庆五年正月朔日壬寅,必为气朔星期同元。

2. 以雨水为历元

中国古代传统的历法,大多以寅月为正月,以冬至朔旦夜半为历元。这样,历元和岁首便不在同一个月。将历元设在冬至的理由是,按照中国的天文学传统,冬至时刻最容易直接测量。但是,历元与岁首不在一起,计算起来总感不便,也不整齐。正是出于这一考虑,刘宋何承天的元嘉历就曾将历元设在正月朔旦雨水夜半。但后世历家都仍然习惯于以冬至为历元。符天历以雨水为历元,这是继元嘉历以后,第二次做出的改革尝试。

3. 以一万为日法

日法是指朔望月日数奇零部分的分母。唐以后历法的天文数据都取共同的分母,则日法的意义也就相应地扩大了。中国古代历法不用小数,奇零部分都用分数计算,这就加大了历法计算中的工作量。唐中宗时,南宫说因受天竺历法的影响,在其编撰的神龙历(705)中,首先将天文数据的奇零部分以"余"、"奇"、"小分"分别作为百进分母,第一次做了简化奇零部分计算的尝试。曹士蔿继续做出这种改革,以一万为分母,相当于计算到小数后四位。以万分为日法简化计算,是符天历的一项重要改革,是中国历法中的一大进步。以后的调元历和授时历等,继承和发展了这一革新。

4. 具有中印历法的共同特点

用食神首尾(或称罗计)来推算交食,这是印度历法的特点。曹士蔿历法中有推算罗计二隐曜的方法,这证明符天历无疑地是受到印度历法影响的。日本新近发现的《符天历经日躔差立成》,同样也证实它具有中印天文学的共同特征。符天



历周天度数的划分是中国系统的，但按度而不是按节气给出日躔差数，则又与印度系统的历法相近。印度历法以春分为历元，而符天历以雨水为历元，也完全是中国的传统。

其实，符天历与天竺历法的关系，在中国史书中早有明确的记载。宋王应麟《困学纪闻》卷九说："唐曹士蒍《七曜符天历》一云《合元万分历》本天竺历法。"南宋晁公武《郡斋读书志》卷十三也说：《合元万分历》，"唐曹氏撰，未知其名。历元起唐高宗显庆五年庚申。盖民间所行小历也。本天竺历为法。李献臣云。"在《文献通考》卷二一九有著录。这些记载都说符天历是"本天竺历为法"的。所谓民间小历，在残唐五代直到宋代，在民间都广为流行。宋人记载必有依据。直接和间接的文献都相一致，因此，符天历受到印度历法的影响，那是毫无疑问的。

六、符天历广为传播的原因

符天历虽然被唐宋钦天监的官员们贬为小历，甚至在正史的天文历律志中都不予记载，但其在官方的天文历算机构和民间的影响却很深远。符天历废除上元积年，以万分为日法等所做的一系列改革，简化了推算方法，这自然是受到社会欢迎的重要原因。

符天历在民间流传很广，这从一些史书的记载中可以看得很清楚。有的学者把符天历在民间广为流传的主要原因归之于通俗易懂，推算简便，又正逢残唐五代中央政权削弱而无法顾及。但看来问题并不那么简单。推算简便与否，与一般人民的使用并无影响，不成其为在民间广泛流传的理由。至于通俗易懂之说，这就很难说了。食神首尾的概念，对于中国人民来说是比较陌生的。符天历与九执历较为接近，但几乎很少有人认为九执历通俗易懂。笔者认为，符天历得以在民间流传的一个很重要原因，是受到佛教的影响。隋唐时，由于统治阶级的倡导，佛教在中国进一步流行，而符天历中包含有佛教文化和迷信的色彩，容易得到佛教徒的支持而便于推广。其次，在残唐五代，战争使人民生活痛苦不堪，都把希望寄托于命运。佛教宣传宿命论，认为一个人的命运，是从诞生那天起就已经决定了的。而一个人的命运好坏，可以借助于佛教天文学推知，那就是依靠各人诞生时九曜所处的方位来决定。在每年颁布的符天历历书中，各月都载有九曜的运行方位，由此便很容易推知任何时刻九曜的位置。这些历注，就是王朴在奏议中所要求废除的东西。



中国古代的星占，包括日月五星和交食在内，主要是用于社会政治的，以此预言国家的治乱和农业的丰歉。由于皇帝是最高统治者，所以这些星占也直接关系到皇族和大臣的吉凶祸福。印度系统的星占，则可以用诞生时的九曜位置来判断



每一个人一生的命运。就这点来说，它与中国系统的星占完全不同，这是符天历能够在民间广为流传的一个重要原因。

从日本的史书中，可以发现古代以诞生时九曜位置推算个人命运的记录，例如，《续群书类丛》卷九〇八载有《宿曜运命勘录》的资料，其中有一条说："天永三年壬辰十二月二十五日戊申时丑诞生男，大寒初日，算勘，自上元庚申岁距今日所积日数十六万五千四百二十八日"。以下载"九曜行度"从略。天永三年相当于1112年，以此积日数上推，其上元正逢唐显庆五年正月朔日壬寅，由此便可证实此条记录是利用符天历推算的，也就是说，在符天历中，确有以九曜位置判断一个人一生命运的方法。从而也可再次证实符天历具有印度历法的特征。在残唐五代以诞生时九曜位置来推断一个人的命运，看来是较为流行的。符天历在民间的广为流传也就不足为怪了。

表4—8　符天历日躔立成

平行度		盈缩度数		差积度数		
		分	小分	度	分	小分
0	182	5	48		0	0
1	181	5	48		5	48
2	180	5	43		10	91
3	179	5	36		16	27
4	178	5	30		21	57
5	177	5	25		26	82
6	176	5	18		32	0
7	175	5	12		37	12
8	174	5	6		42	18
9	173	5	0		47	18
10	172	4	94		52	12
11	171	4	88		57	0
12	170	4	82		61	82
13	169	4	75		66	57
14	168	4	70		71	27
15	167	4	64		75	91
16	166	4	57		80	48



续表

平行度		盈缩度数		差积度数		
		分	小分	度	分	小分
17	165	4	52		85	0
18	164	4	45		89	45
19	163	4	40		93	85
20	162	4	33		98	18
21	161	4	27	1	2	45
22	160	4	22	1	6	67
23	159	4	15		10	82
24	158	4	9		14	91
25	157	4	3	1	18	94
26	156	3	97		22	91
27	155	3	91		26	82
28	154	3	85		30	67
29	153	3	78	1	34	45
30	152	3	73		38	18
31	151	3	67		41	85
32	150	3	57		45	45
33	149	3	55		49	0
34.	148	3	48		52	48
35	147	3	43		55	91
36	146	3	36		59	27
37	145	3	30		62	57
38	144	3	25		65	82
39	143	3	18		69	0
40	142	3	12		72	12
41	141	3	6		75	18
42	140	3	0		78	18
43	139	2	94		81	12
44	138	2	88		84	0





续表

平行度		盈缩度数		差积度数		
		分	小分	度	分	小分
45	137	2	82		86	82
46	136	2	75	1	89	57
47	135	2	70	1	92	27
48	134	2	64	1	94	91
49	133	2	57	1	97	48
50	132	2	52	2	0	0
51	131	2	45	2	2	45
52	130	2	40	2	4	48
53	129	2	33	2	7	18
54	128	2	27	2	9	45
55	127	2	22	2	11	67
56	126	2	15	2	13	82
57	125	2	9	2	15	91
58	124	2	3	2	17	94
59	123	1	97	2	19	91
60	122	1	91	2	21	82
61	121	1	82	2	23	67
62	120	1	78	2	25	45
63	119	1	73	2	27	18
64	118	1	67	2	28	85
65	117	1	60	2	30	45
66	116	1	55	2	32	0
67	115	1	48	2	33	48
68	114	1	43	2	34	91
69	113	1	36	2	36	27
70	112	1	30	2	37	57
71	111	1	25	2	38	82
72	110	1	18	2	40	0



续表

平行度		盈缩度数		差积度数		
		分	小分	度	分	小分
73	109	1	12	2	41	12
74	108	1	6	2	42	18
75	107	1	0	2	43	18
76	106	0	94	2	44	12
77	105	0	88	2	45	0
78	104	0	82	2	45	82
79	103	0	75	2	46	57
80	102	0	70	2	47	27
81	101	0	64	2	47	91
82	100	0	56	2	48	48
83	99	0	52	2	49	0
84	98	0	45	2	49	45
85	97	0	40	2	49	85
86	96	0	33	2	50	18
87	95	0	27	2	50	45
88	94	0	22	2	50	67
89	93	0	15	2	50	82
90	92	0	9	2	50	91
91	91	0	3	2	50	94

（撰稿人：陈久金）

第八节　徐　昂

一、徐昂的天文工作及其成就

徐昂是唐朝晚期的天文学家，主要活动在 9 世纪前半期。有关徐昂的生平事迹，古代文献记载极少。《旧唐书·历志》只载“宪宗时，徐昂造观象历。”《新唐书·



历志》说："宪宗接位，司天徐昂上新历，名曰观象。起元和二年用之。然无章蔀之数。至于察敛启闭之候，循用旧法，测验不合。"《唐会要》也只是这点内容。《新唐书·历志》还说："观象历，今有司无传者。"可见早已失传。根据这些文献的记载，只知徐昂造观象历，于宪宗元和二年(807)二月颁行，它循用旧法，但不用章蔀之数。

《新唐书》说观象历"无章蔀之数"是对的。但不用章蔀纪元，正是中国历法中的一项革新，是历法进步的一种标志。废除章蔀纪元开始于隋张胄玄的开皇历，但直至麟德历仍用章闰之法。大衍历虽不用章闰之名，但仍暗用章法[①]。五纪历、正元历沿袭旧法不改。只有至观象历才真正废除章蔀之数，专以无中气之月置闰。关于这点，钱宝琮《从春秋到明末的历法沿革》[②]及中国天文学史整研小组《中国天文学史》所言不很准确。

观象历颁行使用了15年，穆宗接位，即改用宣明历。《旧唐书》全无宣明历的记载。《新唐书·历志》则说："至穆宗立，以为累世缵绪，必更历纪，乃诏日官改撰历术，名曰宣明历。"这个历官是谁呢？没有载明。可是北宋天文学家周琮在评论创法十大家时，则明确地指出"唐徐昂作宣明历。"[③]《元史·历志》也说："宣明历，长庆二年壬寅徐昂造。"周琮曾系统地研究过中国古代历法，那时距离宣明历颁行的时间仅200年左右，他的这种说法必有根据。因此，宣明历为徐昂所造大致无误。

从徐昂造观象历和宣明历的记载，我们可以估计在807年至822年期间，他曾在司天监工作。造观象历时称"司天徐昂"，造宣明历时则称"日官"。这些记载都很含糊，其具体职务可能是司天监，也可能是比司天监地位较低的其他职务。从他两次改历均未受到奖励这一事实可以看出，由于战乱，当时朝廷对于历法的改革很不重视。改历只是出于政治的需要，至于新历的好坏和成就，则就很少有人顾及了。然而，宣明历颁行之后，直到景福元年(892)才改用崇元历，行用时间长达71年，是唐代使用时间最长的一部历法(图4－22)。这一事实的本身，就足以说明宣明历是一部好的历法。



宣明历对后世的影响确实很大，其后崇元历对五星运动的计算精度方面虽有所提高，对交食推算技巧上也有所改进，但终究仍不能完全代替宣明历。故《旧五代史·历志》说梁唐二朝"犹用宣明、崇元二法，参而成之。"石晋天文学家马重绩改历表文上也说："长庆宣明，虽气朔不渝，即星躔罕验；景福崇玄，纵五历甚正，而气

① 参见本书《一行》。

② 见《历史研究》，1960年，第3期。

③ 《宋史·历志八》周琮"论历"。

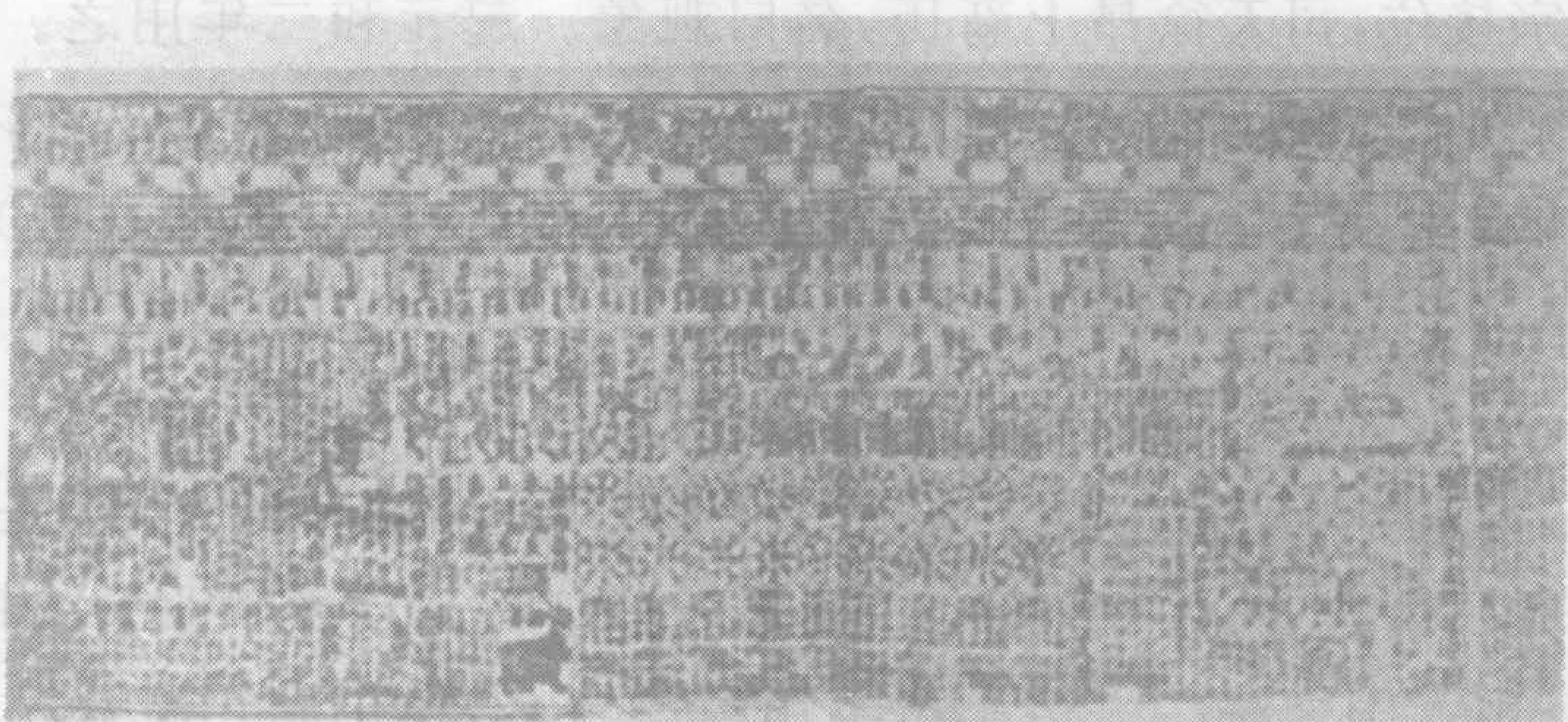


图 4—22 宣明历的唐僖宗乾符四年(877)历书

差一日。今以宣明气朔、崇玄星纬,二历相参,方得符合。”[①]直至石晋时代,马重绩校测的结果表明,宣明历的气朔和交食的推算仍比崇玄历稍优,只是五星的推算不及崇玄。可见直至五代时,宣明历的影响仍然很深。故后世历家都把宣明历评为大衍历以后唐代最优秀的历法。

宣明历究竟有什么先进之处呢？分析一下所使用的一些天文数据,就知道它比大衍等历法要精密一些,在推算气朔和日月运动等方面,则尤为精密。例如,据郭守敬等人测算,宣明历行用 71 年后,其节气仅先天 4 刻。[②] 古人对节气不易测得准确,达到这样的精度,也就相当精密了。后晋马重绩所做的气朔实测,也证实了宣明历比崇玄历准确。

但是,宣明历最重要的,也就是被郭守敬列入创法十三家之列的成就,却是在交食的推算方面。为徐昂所创立的日食三差,是中国古代交食预报上的一次重大革新。日食三差即时差、气差、刻差。周琮论历说:“唐徐昂作宣明历,悟日食有气、刻差数。旧历推日食皆平求食分,多不允合。至是推日食,以气刻差数增损之。则日食分数,稍近天验。”[③]周琮所指出的,只是以气差和刻差作食分的改正。除此以外,食甚时刻相对于定朔时刻还需做出改正,这就是时差。做出改正以后,无论在交食时间的推算或食分的推算方面,均比以前的算法精密得多。

二、时差与食甚时刻的改正

日月位置的推算,都以地心立算,人在地面观测便产生视差。月亮的地平视差

① 《旧五代史·历志》。
② 《元史·历志二》。
③ 《宋史·历志八》。



为 57′3″，太阳仅为 8″.8。因太阳视差远小于月亮视差，古代一般都不予考察。故所谓视差，一般都是指月亮而言。任何时刻月亮的视差，是其天顶距的正弦函数。而月亮的天顶距 z，与赤纬 δ、时角 π 和观测地纬度 φ 之间的关系，可以球面三角公式表示如下：

$$\cos z = \sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi\cos\pi$$

对同一地点，月亮的天顶距就只与赤纬和时角有关。随时角增加而减小，随赤纬的增加而增加（南纬时相反）。由此可以用来判别古代计算方法的准确程度。

《新唐书·历志》载宣明历推求时差时说：

> 凡日食，以定朔日出入辰刻距午正刻数，约百四十七为时差。视定朔小余，如半法已（以）下，以减半法为初率；已（以）上减去半法，余为末率。以乘时差，如刻法而一。初率以减，末率倍之，以加定朔小余，为食定余。

宣明历将视差引起的时间改正定名为时差。它以 8400 为统法，即以一天为 8400 分。其一半称为半法。分一天为 100 刻，则 84 为刻法。各历法每天的日出入辰刻都事先测定。在平朔的基础上，做出日月盈缩数的改正以后，便得定朔小余。宣明历规定：

$$\text{午前食甚定余} = \text{定朔小余} - \frac{(\text{半法}-\text{小余})}{\text{刻法}} \times \frac{147}{\text{日出距午正刻}}$$

$$= \text{定朔小余} - 147 \times \frac{\text{定朔距午正刻}}{\text{日出距午正刻}}$$

$$\text{午后食甚定余} = \text{定朔小余} + \frac{(\text{小余}-\text{半法})}{\text{刻法}} \times \frac{2\times 147}{\text{日没距午正刻}}$$

$$= \text{定朔小余} + 294 \times \frac{\text{定朔距午正刻}}{\text{日没距午正刻}}$$

依公式，定朔在午正时改正值为 0，食甚在日出、日入时，则分别为负 147 分（$1\frac{3}{4}$ 刻）和正 294 分（$3\frac{1}{2}$ 刻）。



从对定朔时刻所做的食甚时刻改正值公式来看，它主要决定于时角，即视差对食甚时刻的影响与食甚距午正时刻成正比。日食时，日月赤纬大致相合，日食时月亮赤纬的变化反映了季节的变化。日出入辰刻受季节变化的影响，日出入距午正时刻不是常量，随季节变化，公式与日出入距午正时刻成反比表明，食甚时刻的改正也与赤纬成反比。因此，宣明历对食甚时刻所做的改正是符合视差原理的。尽管与现代以科学的计算方法相比，还有较大差距，但视差的两项影响都考虑在内了。其考虑问题的方向是对的。

这从图 4－23，可以看得很清楚：ZH 为通过天顶和月亮的地平经线。γS、γM 分别为黄道和白道。γ 为升交点。$\gamma\gamma'$ 就是食差。因视差的影响，使得白道由 γM

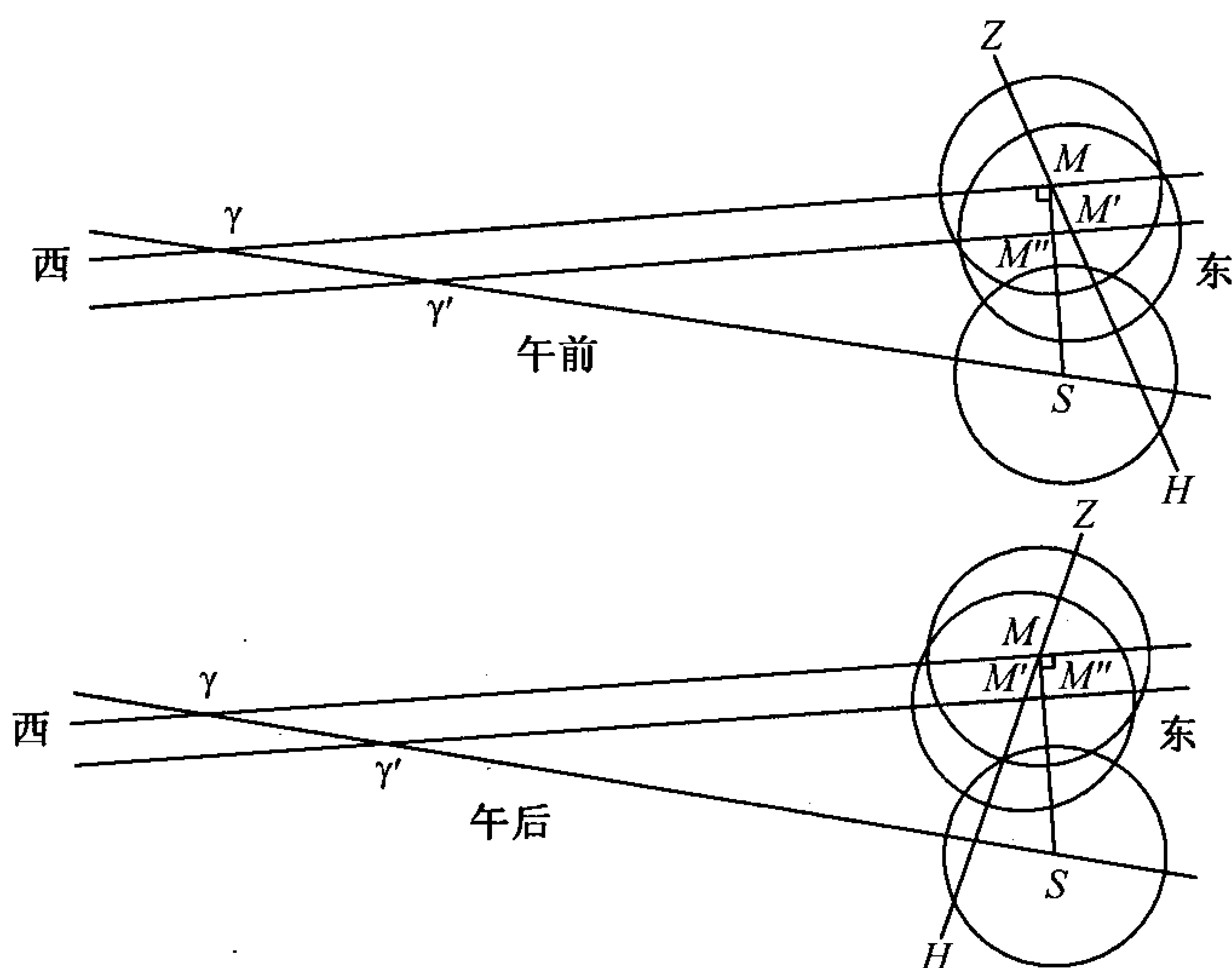


图 4—23　午前午后因视差引起的时差改正

下降到$\gamma'M'$,食甚时刻也相应地发生改变。需做出月亮从M'行到M''的时间改正,称为时差。午前减,午后加,与食甚距午正时刻成正比。它并不等于定朔至食甚的时间差。后者较小,为日月同黄经时至食甚的时间差,中国古代一般都忽略不计。

自从皇极历在交食计算中发明视差改正以来,在推算食甚时刻时已经把时角变化和赤纬变化考虑在内,但只是一些经验性的改正数值,科学意义并不明确。宣明历的成就在于,计算时差时立算简单,每一项计算都有明确的科学意义,算得的结果比前历精密。这点与麟德、大衍等历比起来,是一项重要进步,后世都基本上沿用这种算法。



三、气差刻差与食分的计算

《新唐书·历志》有关宣明历推算气差、刻差的记载说:

二至之初,气差二千三百五十。距二至前后,每日损二十云,至二分而空。以日出没辰刻距午正刻数,约其朔日气差,以乘食甚距午正刻数,所得以减气差,为定数。春分后,阴历加之,阳历减之;秋分后,阴历减之,阳历加之。

二至初日,无刻差。自后每日益差分二,小分十。起立春至立夏,起立秋至立冬,皆以九十四分有半为刻差。自后日损差分二,小分十,至二至之初,损尽。以朔日刻差,乘食甚距午正刻数,为刻差定数。冬至后食甚在午正前,夏至后食甚在午正后,阴历以减,阳历以加;冬至后食甚在午正后,夏至后食甚在午正前,阴历以加,阳历以减。



宣明历将月亮赤纬和时角变化引起的视差改正分开计算。把赤纬改变引起的视差改正称之为气差，把时角改变引起的视差改正称之为刻差。前者的差值与季节有关，后者与交食发生的时刻有关，故称气差、刻差。依术文，其算法可以算式表示如下：

$$(1)\text{气差定数}=\text{朔日气差}-\text{朔日气差}\times\frac{\text{食甚距午正刻}}{\text{日出没距午正刻}}$$

$$=\frac{\text{朔日气差}}{\text{日出没距午正刻}}\times\text{食甚距日出没刻数}$$

气差和日出没距午正刻都随季节而变化，但对于某特定的一天来说，又都是常量，是早已给定了的。气差定数与食甚距日出没时刻成正比，表示食差改正在近午时主要决定于气差，在早晚时主要决定于刻差。在其他时刻，两者都有影响，这与观测事实相符。

宣明历规定，在二至时，有气差 2350 分，以后日减 16 分，至春秋分为 0。这表明气差是相对于春秋分而言的，在二至中午时发生交食，气差达到最大值 2350 分。气差值春分后阴历正，阳历负；秋分后则相反。气差改正相对于赤道而言，所以赤道南北的符号相反是不难理解的。

(2)刻差定数＝朔日刻差×食甚距午正刻

对特定的一天来说，刻差是常量。刻差定数与食甚距午正刻成正比，正是表示出视差大小与时角的变化成正比。它规定冬至后食甚在午前、夏至后食甚在午后时，阴历减阳历加；冬至后食甚在午后、夏至后食甚在午前时，阴历加阳历减。午前午后刻差符号的变化，反映出月亮视位置相对于黄道位置的高低的变化。

宣明历规定，二至时无刻差，以后逐日增 $2\frac{10}{300}$分，至立春立秋达 $94\frac{1}{2}$分，立春立秋至立夏立冬刻差相等，以后又日减 $2\frac{10}{300}$分，到至日消尽。若按春秋分日出入距午 25 刻计，与刻差 94 分相乘，得刻差最大值 2350，则与气差最大值一致。这一结果向我们揭示了气差与刻差最大值都以相同值立算。其余各日气差值都以经验值排定。



气差定数与刻差定数合称食差。以食差与月亮去交分相加减，为去交定分。宣明历分日食的大小为 15 个等级，规定阴历食限 6060 分，则定法 404(定法为食限的 1/15)；阳历食限 2640 分，则定法 176 分。以去交定分与食限相比较，便知日食是否发生。以阳历或阴历定法约之，便可求得日食食分。

四、交食三差在中国历法史上的地位

在南北朝以前，人们在推算交食时，都直接以合朔时月亮去黄白交点的度数或

月黄纬来推算食分，以定朔时刻作为食甚时刻。后来发现，用这种方法推得的食分和时刻都有较大的误差，自刘焯皇极历起，便开始了探求误差的改正方法。麟德历因循其法，大衍历稍有改变，增加了九服食差的推算，也是一项进步。这种差异主要是视差造成的。另外，食甚是日月视位置最接近的时刻，它与合朔时刻（日月同黄经）也有差异，只是比视差影响小，中国古代都不作考虑。麟德历和大衍历在计算月亮的去交度时都要做出经验改正，把这种改正称之为食差。食差与季节有关，不同季节有不同的食差。《大衍历・日食议》说："日月交会大小相若，而月在日下，自京师斜射而望之，假中国食既，则南方戴日之下所亏才半，月外反观，则交而不食"。[①] 可知当时已认识到食差是由于视差造成的，只是由于科学水平的限制，尚未总结出准确的推算方法。麟德历在求食差定数时，似也考虑到时角对它的影响，但其科学意义并不很清楚。因此，它还只处于中国古代交食计算中做出视差改正的初始阶段。

麟德历推算食甚时刻，有在定朔的基础上做出改正的方法。先求出差值，差值是食甚距午正时间的函数；再对差值做出季节的改正，改正后称为定差。其计算方法是比较复杂的，也缺少严密的科学根据，大约都是依据经验做出的改正，这里就不多介绍了[②]。大衍历食甚时刻的改正只与季节有关，也就是说只考虑月亮因赤纬改变而引起的视差变化。由于时角变化，所产生的视差也很大，不考虑时角变化的影响，势必减低预报的精度。对此，薮内清认为是《新唐书・历志》在编撰时的失误[③]，这只能是一种猜测。它可能与唐代前期时视差改正的计算尚未定型有关。

至宣明历时，视差改正取得划时代的进步。它用时差来对食甚做出时间改正；将月亮因周年和周日距天顶位置的改变对视差所产生的影响，分解为两个步骤来计算，叫作气差和刻差。其中算式简明，每一个算式都有其明确的科学意义。这就使得视差改正的计算有一套较为严密的、有科学依据的方法。这是一组代数算式，与严密的几何求解相比，在精度上虽然仍存在一定的差距，但与麟德历、大衍历等的经验改正相比，其精度已有明显的提高。自此以后，宣明历所创立的三差改正便成为我国古代交食计算中的经典方法，为历代所沿袭，直到授时历仍无多大变化。



时差是食甚时刻对于定朔时刻的时间改正。它是建立在食甚发生在午正时刻（即位于子午线上）无时差的认识基础之上的。时差值与偏离午正时刻的大小成正比。但是，日月位于同一黄经才是合朔时刻。严格地说，只有当交食发生在黄平象

---

① 《新唐书・历志三下》。

② 王应伟《古历通解》中有较详细的注解，刘金沂《麟德历交食计算法》亦曾对其算法做过解释。见《自然科学史研究》，1984年，第3期。

③ 见《隋唐历法之研究》，1944年，三省堂版。



限时（通过天顶的黄经线），才无时差（此时只有黄经方向的视差）。它并不与子午线重合，但差别不大。中国古代使用的是伪黄经，是以通过天体的赤经与黄道的交点来度量的，以至于混淆了这一概念。这种情况直至清代的时宪历才得到纠正。因此，就这一假设而言，时差改正也只可能近似地正确。

气差在授时历中称为南北差[①]。它是因交食偏离赤道南北时食分产生差数而得名。宣明历的气差是以赤道为基准计算的。气差随着黄道赤经的增加而加大，在二至时达到极大。气差是对不同节气而言，南北差是对黄道不同方位而言，名虽有异而实质相同。

刻差在授时历中称为东西差。其意义是偏离午正时刻所产生的日食食分的差数。东西差的大小与偏离午正的时刻成正比。所谓东西差有两种意义，一是只有当交食发生在东西方向时才有差，它的意义与刻差相当。二是古代将天球上春分点前后称为东方，秋分点前后称为西方，在春秋分前后，刻差达到极大，到二至减小到零，是日食发生在天球东方和西方时所产生的偏差，是两种意义上的巧合。

宣明历中的气差、刻差，在授时历中称南北差、东西差，与清代时宪历中的南北差、东西差的概念并不一致。时宪历先以黄平象限求出高下差（即视差），再在黄道系统中分解成黄纬和黄经两个分量，黄纬方向的分量称南北差，用于求食分，黄经方向的分量为东西差，用于求食甚至合朔之间的时间改正。[②]

五、宣明历在国外的影响

宣明历在唐朝共行用了 71 年。制定以后，由于气朔推算方面的准确性和交食预报上的进步，一直享有较高的声誉。宣明历在国外也有很大的影响。唐朝与各国经济文化交流频繁，早在宣明历行用期间，日本和朝鲜等国学者就已到中国学习了宣明历的使用方法，并把它带回本国。



贞观四年（862）日本清和天皇，开始颁行中国传入的宣明历，此时还正处于唐朝行用宣明历的期间。以后一直沿用至江户时代的贞享元年（1684），共行用了 822 年，是日本行用时间最长的一部历法，这在世界历法史上也不多见。

在日本，至今仍流传有关于宣明历的文献。较常见的有宽永二十一年（1645）的刊本。共分七卷，其中除二、三、五、六、七卷为立成表外，一卷为术数概说，四卷为交食私记，均为日本学者所作。另外东北帝国大学林文库还藏有宽永年间回生庵的抄本。此抄本增补了注解的内容。

在朝鲜，自高丽统一（918）以后，就开始使用宣明历，一直沿用到忠宣王（1309）

---

① 《元史·历志四》。

② 时宪历交食解法请参见《时宪历交食推步在西藏》，《自然科学史研究》，1985 年，第 1 期。

才改用授时历。使用授时历以后，朝鲜学者仍习惯于用宣明历推算交食，直到高丽灭亡(1392)时为止。因此，宣明历在朝鲜国内也行用了近 500 年。此外，《高丽史》卷五〇就有关于宣明历的详细记载。《新唐书·历志》所载宣明历有关视差的改正中，除掉时、气、刻三差以外，还设有加差，作为一项小的补正。但后世都废而不用。日本、朝鲜的文献中，也都有加差"今世不用"的记载。另外，《高丽史》所载宣明历的食限也有微小的差别，这是朝鲜学者在实际使用过程中所做出的修正。对比《高丽史》和《新唐书》宣明历的文献可以发现，在《新唐书》中缺漏了的部分，却在《高丽史》中保存了下来。这也是一件有意义的事。

以上事实足以说明，宣明历是我国古代优秀的历法之一，它不但在交食算法上有重要创新，其推算精度也有了较大的提高。它曾得到国内外学者的高度重视，深受大家的喜爱。就此而言，徐昂在中国历法史上的功绩也应该得到充分的肯定和赞扬。

（撰稿人：陈久金）

第九节 边 冈

唐昭宗初年，徐昂编订的宣明历(820)已行用约 70 年，误差日显，昭宗遂"诏太子少詹事边冈与司天少监胡秀林、均州司马王墀改治新历"。"景福元年(892)历成，赐名崇玄"。"起二年(893)颁用，至唐终(907)"[①]，前后计 14 年。

崇玄历"术一出于冈"，即边冈是该历法的实际编撰者。它是继大衍历和宣明历之后出现的有显著特点和对后世历法产生积极影响的历法，因此，边冈是唐代最后一位有成就的天文学家。他又以精于算术的数学家著称于世，"冈用算巧，能驰骋反复于乘除间"。在崇玄历中，边冈创造了一系列历法问题的新算法，充分显示了他的数学才能。本文拟从天文，特别是历算方法方面，来论述边冈的重要贡献。



一、对若干天文数据和历表的改进

崇玄历所用大部分天文数据与大衍历相近，但也有一些天文数据和历表则是边冈研究工作的新得。

如崇玄历取交食周期为：交数 3350，交率 263（现传本[②]记作 262，误），即以为 3350 个交点月长度适与 263 个交点年长度相等。已知一交点月长度为

① 《新唐书·历志六下》，以下引文凡未注明出处者，均同此。

② 本文中所谓现传本均指《历代天文律历等志汇编》，中华书局，1975 年。



367364.9673/13500 日，则可算得一交点年长度等于 346.6195298 日，与理论值差仅约 15 秒。这一数值较其以前的任一历法都要精密得多(如大衍历的误差为 94 秒)。在其后，也只有北宋姚舜辅纪元历(1106)所取交食周期值的精度(7 秒)略高于它。

对于五星运动不均匀性改正的历表，边冈做了新的处理。他把周天度分为“盈限”和“缩限”不等的前后两段，每段又各等分为 12 栏。在五星近日点位置测量存在一定误差的情况下，这种新的处理方法能较真实地反映五星运动不均匀性改正的不对称性。该法为宋代应天、乾元和仪天 3 种历法所承用，有一定的影响[①]。

对于五星近日点黄经，边冈也做了新的观测。其中对于火星近日点黄经的测算尤为精密，与理论值之差仅 1°.57，为我国古代历法中的最佳值。边冈新测得木、火、土、金、水五星近日点黄经的进动值分别为：35″.20、35″.08、34″.94、35″.31 和 35″.12。虽然这些数值的误差较大，但还是比大衍、宣明等历有所进步。北宋纪元历以前各历法差不多都参照了边冈的数值。[②]

这些情况表明，在编制崇玄历的过程中，边冈确曾进行过相当多的天文实测工作，他的新法及其影响在历法史上是不可忽视的。

二、关于历算捷法

在崇玄历中，边冈设计了不少巧妙的简捷算法。推求任一年十一月冬至时月亮平行度的“径术”，便是一个精采的例子。

我们知道，已知上元到所求年的积年数 A，该年十一月冬至时月亮平行度应等于：(回归年长度×A×月亮每日平行度/周天)的余数。其中月亮每日平行度＝〔(回归年长度/朔望月长度)＋1〕度。将崇玄历的有关数值代入，则有：

$$\frac{\frac{4930801}{13500}\times\left(\frac{4930961.24}{398663}+1\right)\times A}{\frac{4930961.24}{13500}}\text{的余数} \qquad (1)$$

而崇玄历上元至景福元年岁积 53947308 年，即用式(1)计算时，A 均要大于此值，这对古人来说当然是一个相当复杂的算题。

对此，边冈“作径术求黄道月度：以蔀率(9036)去积年(A)，为蔀周。不尽，为蔀余。以岁余(639)乘蔀余，副之。二因蔀周，三十七除之，以减副。百一十九约蔀余，以加副。满周天去之，余，四因之为分，度母(19)而一为度，即冬至加时平



① 陈美东：《古历新探》，辽宁教育出版社，1995 年，第 446 页。

② 陈美东：《我国古代对五星近日点黄经及其进动值的测算》，《自然科学史研究》，1985 年，第 2 期。

行月。"

近人王应伟曾对这段术文作过考证①,他对术文做了较大改动,我们认为不妥。惟他将"满周天去之,余"等字移于"即冬至加时平行月"之前,这是可取的。做此移动后,上术文可表为下式:

$$\frac{\frac{4}{19}\left(639\times\text{蔀余}+\frac{1}{119}\times\text{蔀余}-\frac{2}{37}\times\text{蔀周}\right)}{\text{周天度}}\text{的余数} \qquad (2)$$

设 $A=1$,则蔀周=0,蔀余=1,代入式(1)得 134.5280153 度,代入式(2)得 134.5280849 度。由此可知,式(2)中$\frac{4}{19}$、639、$\frac{1}{119}$诸值的选取是很得当、很巧妙的。虽然如此,由式(1)和式(2)所算得者仍存小差,当 A 比较大时,两者之差将不可忽略,所以还需引进必要的改正项,以使两者之差保持在精度允许的范围内,而这一改正项的选定当然要适应 $A>53947308$ 年时的情况,因为这是崇玄历推算各种历法问题的时段。又由式(2)知,边冈是将这一改正项表达为蔀周与某一系数(B)的乘积,而蔀周则与蔀率有关。至于蔀率的选定,应以 B 能表作尽量简单的分数为原则。我们认为,这些应是边冈设计他的这一"径术"时的思路。

设 $A=53947308$,则蔀周=5970,蔀余=2388,代入式(1)得 95.22234038 度,代入式(2)得 124.7642318 度,两者差达 29 度余。这表明:若现传本蔀率值无误,则式(2)中蔀周的系数 2/37 必有误。由于存在种种复杂的因素,边冈所取系数究为何值,实难断言。不过,依上述思路,我们以为 100/1289 是一个较合理的系数值,即现传本术文中"二因蔀周,三十七除之"句,应改为"九因蔀周,百一十六除之"。依此修正可得下式:



$$\frac{\frac{4}{19}\left(639\times\text{蔀余}+\frac{1}{119}\times\text{蔀余}-\frac{9}{116}\times\text{蔀周}\right)}{\text{周天度}}\text{的余数} \qquad (3)$$

当 A=53947308 年及其后的 600 年间,依式(3)和依式(1)计所得结果的偏差将不大于 0.04 度。

在崇玄历中捷法的又一例子,是关于任一年冬至午中与月亮远地点间时距的计算法。术曰:"四十七除蔀余,为率差(C)。不尽(D),以乘七日三分半,副之。九因率差,退一等,为分,以减副。又百约冬至加时距午分(E),午前加之,午后减之,满转周去之,即冬至午中入转。"

已知任一年冬至午中与月亮远地点间的时距应等于:〔(回归年长度$\times A\pm E$)/

① 王应伟:《中国古历通解》,辽宁教育出版社,1998 年,第 480、481 页。



近点月长度〕的余数，用崇玄历的有关数据代入 则为：

$$\frac{\frac{4930801}{13500}\times A\pm E}{\frac{371986.97}{13500}}\text{的余数} \tag{4}$$

而依术文所言，其径术为：

$$\frac{7.035D-0.009C\pm E}{\text{转周}}\text{的余数} \tag{5}$$

式中 C＝蔀余/47 的整数，D＝蔀余/47 的余数。

设 $A=1$，代入式(4)得(7.034843702±E)日，边冈在其径术中所取的 7.035 这一数值即为 7.034843702 的很好的近似值，应该说该值的选取是很贴切的。同样，由于这两者之间并不全等，所以当 A 增大时，亦需引进适当的改正项，边冈对这一径术设计的思路也应与上述径术相似。此外，如设 $A=47$，代入式(4)得(27.53715992±E)日，这与转周(即近点月长度)27.55459037 日亦相近似。这就是说，边冈取 47 为小周期，也是颇具匠心的。

当 A＝53947408 年及其后的 600 年间，依式(5)和依式(4)计算所得结果的偏差将不大于 0.2 度。这一偏差稍嫌大了一些，似非边冈径术的原貌。我们以为现传本术文中“九因率差”句，似应为“十二因率差”之误，依此则有下式：

$$\frac{7.035D-0.012C\pm E}{\text{转周}}\text{的余数} \tag{6}$$

当 A＝53947408 年及其后 600 年间，依式(6)和依式(4)计算所得结果的偏差将不大于 0.05 度。

以上两种捷法，是边冈在历法计算中删繁就简努力的一部分。边冈把如式(1)和式(4)所示的十分庞大的数字运算，化为如式(3)和式(6)所示的简单得多的数字运算，并保持了一定的精确度，这表明边冈具有十分敏捷的思维和巧妙的数据处理能力。



三、先相减后相乘法——等间距二次差内插法的应用

我国古代等间距二次差内插法的发明和应用首见于刘焯的皇极历(604)。有唐一代，经一行、徐昂等人的努力，该法已成为历算家解决一系列历法问题的有力工具，并得到了进一步的发展。

设间距等于 1，刘焯的公式为：

$$f(n+s)=f(n)+s\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}+s(\Delta_1-\Delta_2)-\frac{s^2}{2}(\Delta_1-\Delta_2)$$

而徐昂的公式与之等价，但取更简明的形式[①]：

$$f(n+s)=f(n)+s\Delta_1+\frac{s}{2}(\Delta_1-\Delta_2)-\frac{s^2}{2}(\Delta_1-\Delta_2)$$

其实，该公式还可以改写为如下的形式：

$$f(n+s)=f(n)+\left\{\begin{matrix}\left[\Delta_1+\dfrac{(\Delta_1-\Delta_2)}{2}\right]- \\ \dfrac{(\Delta_1-\Delta_2)}{2}s\end{matrix}\right\}s \qquad (7)$$

式中 $\Delta_1=f(n+1)-f(n)$

$\Delta_2=f(n+2)-f(n+1)$

在崇玄历中，边冈采用了他首创的先相减后相乘法于若干历法问题的计算。所谓先相减后相乘法，实即如式(7)所示的计算法。下举数例以明之。

在推算黄赤道度差时，边冈所用的公式，严敦杰业已指出[②]，其式为：

$$f(n+s)-f(n)=\frac{1}{10000}\left\{\begin{matrix}\left(1315-\dfrac{144}{10}s\right)s- \\ \dfrac{s}{1690}(4566-s)s\end{matrix}\right\}$$

$0<s<45.65685$ 度，若 45.65685 度 $<s<91.3137$ 度，需以 91.3137 度返减之。此式可改写为：

$$f(n+s)-f(n)=\left[\frac{\left(1315-\dfrac{4566}{1690}\right)}{10000}-\frac{\left(\dfrac{144}{10}-\dfrac{1}{1690}\right)}{10000}s\right]s \qquad (8)$$

式(8)与式(7)在形式上的一致性是显而易见的，换句话说，式(8)实为等间距二次差内插法的一种特殊的形式。



崇玄历在计算月亮黄纬值时，也应用了先相减后相乘法，其术曰：

> 如一象九十一度已(以，下同)下，为在少象；已上者，反减〔半〕半交九十一度，余为入老象。皆七十三乘之，退一等。用减千三百二十四，余以乘老、少象度及余，再退为分，副之。在少象三十度已下，老象六十一度已上，〔反减九十一度〕皆与九十一度先相减、后相乘，五十六除，为差。若少象三十度已上，反减九十一度，及老象六十〔一〕度已下，皆自相乘，百五除，为差。皆以减副，百约为度，即朔望夜半月去黄道度分(F)。

依术文意，当 $s<30$ 度与 $s>61$ 度时(后者需以减 91 度)：

---

① 钱宝琮主编：《中国数学史》，科学出版社，1964 年，第 103，第 107 页。

② 严敦杰：《中国古代黄赤道差计算法》，《科学史集刊》第一期，1958 年。



$$F=\frac{1}{100}\left[\frac{\left(1324-\frac{73}{10}s\right)s}{100}-\frac{(91-s)s}{56}\right]$$

$$=\frac{1}{100}\left[\left(\frac{1324}{100}-\frac{91}{56}\right)-\left(\frac{73}{1000}-\frac{1}{56}\right)s\right]s \qquad (9)$$

当 $s<61$ 度与 s 度时(后者需减 91 度):

$$F=\frac{1}{100}\left[\frac{\left(1324-\frac{73}{10}s\right)s}{100}-\frac{(91-s)^2}{105}\right]$$

$$=\frac{1}{100}\left\{-\frac{8281}{105}+\left[\left(\frac{1324}{100}+\frac{182}{105}\right)-\left(\frac{73}{1000}+\frac{1}{105}\right)s\right]s\right\} \qquad (10)$$

式(9)和(10)与式(7)在形式上也无不同,其为等间距二次差内插法的一种特殊形式亦无疑。

又如,因定朔发生时角的不同,定朔时刻与日食食甚时刻就会有一时差,在推算此改正值时,崇玄历也用了先相减后相乘法:“凡定朔约余(G)距午前、后分(s),与五千先相减、后相乘,三万除之;午前以减,午后倍之,以加约余,为日蚀定余(H)。”即:对于午前:

$$H=G-\frac{(5000-s)s}{30000} \qquad (11)$$

对于午后:

$$H=G+\frac{2(5000-s)s}{30000} \qquad (12)$$

这比起式(8)、式(9)、式(10)来,都更为简明,而其数学意义则无异。



此外,崇玄历在推算阴历蚀差、阳历蚀差和五星盈缩度时,也都采用了先相减后相乘法。边冈经常应用此法于历法问题的计算,应用时,是别出心裁和得心应手的。

崇玄历以前各历法,在推算黄赤道度差时,规定以 4 度或 5 度为一限,每限递增(或递减)一限差度值。这种分限计算的方法存在着步骤繁琐、应用不便的弊病。而进行月亮黄纬值、蚀差等的计算时,以前的历法是用先列出相应表格,再依表列数值用内插法推算的方法,同样存在步骤繁杂和应用不便的问题。而边冈所拓展的先相减后相乘法,不但省去了计算的中间步骤,使计算简便易行,而且具有严密的数理基础,所以该法被后世的历法家广泛采用,成为最常用的经典算法之一。

先相减后相乘法,是对刘焯以来等间距二次差内插法研究的新总结与归纳。如果说徐昂公式是对刘焯公式做同类项归并后得到的,那么,先相减后相乘法,则

是将徐昂公式做新的组合，并隐有关根数（Δ_1、Δ_2 等）于相应的系数之中，成为等间距二次差内插法的一种特殊形式。以式(11)为例，其 Δ_1、Δ_2 可依如下方程组求得：

$$\begin{cases}\Delta_1+\dfrac{(\Delta_1-\Delta_2)}{2}=\dfrac{5000}{30000}\\[2mm]\dfrac{\Delta_1-\Delta_2}{2}=\dfrac{1}{30000}\end{cases}$$

则

$$\Delta_1=\frac{4999}{30000}$$

$$\Delta_2=\frac{4997}{30000}$$

于是，反过来说，边冈应是先定出 $\Delta_1=4999/30000$ 和 $\Delta_2=4997/30000$ 这两个数值后，才导出式(11)的，其余亦仿此。

四、三次和四次函数算法的发明与应用

崇玄历推算每日阳城晷影长度的术文曰：

> 各计其日入二至加时已（以）来日数及余(s)，如初限（冬至前限、夏至后限 59 日；夏至前限、冬至后限 123.62225 日）已下，为后；已上，以减二至限(182.62225 日)，余为前，副之。各以乘数（冬至前限、夏至后限乘数 15；夏至前限、冬至后限乘数 4）乘之，用减初、末差（冬至前限，夏至后限差 2195；夏至前限、冬至后限差 4880），所得，再乘其付，满百万为尺，不满为寸、为分，夏至[前]后，则退一等，皆命曰晷差。冬至前后（指冬至前限和夏至后限），以减冬至中晷(12.7150 尺)；夏至前后（指夏至前限和冬至后限），以加夏至中晷(1.4780 尺)，为每日阳城中晷(k)……①



依术文意，当冬至前限和夏至后限时（即冬至后 $s<59$ 日和夏至后 $s>123.62225$日时，后者需以减 182.62225 日）：

$$k=12.7150-(2195-15s)\cdot s^2\cdot 10^{-6} \qquad (13)$$

当夏至前限和冬至后限时（即夏至后 $s<123.62225$ 日和冬至后 $s>59$ 日时，后者需以减 182.62225 日）：

$$k=1.4780+(4880-4s)s^2\cdot 10^{-7} \qquad (14)$$

由式(13)和式(14)可见，边冈晷长计算法是三次函数算式。研究表明，该算式的计算精度与一行大衍历所用的传统方法大略相同，表明了边冈新法的可靠性，且新法又以其简明和便捷的显著特点远胜前法。宋代仪天历(1001)和崇天历(1024)

---

① 《新唐书·历志六下》。



的晷长计算法均直接继承边冈法，只略作修订而已[①]。

对于太阳视赤纬(δ)的计算，边冈在崇玄历中，更发明了四次函数计算法。其术文曰：

> 又计二至加时已来至其日昏后夜半日数及余(s)。冬至后为息，夏至后为消。如一象(91.3131 度)已下，为初；已上，反减二至限(182.6262 度)，余为末。令自相承，进二位，以消息法(1667.5)除为分，副之。与五百先相减后相乘，千八百而一，以加副，为消息数。以象积(480)乘之，百约为分，再退为度(g)。春分后，以加六十七度四十分；积分后，以减百一百五度二十分，即各其日黄道去极(δ)。[②]

依此，可列出如下算式：

$$g=\left[\frac{100.5}{1667.5}+\frac{\left(500-\frac{100s^2}{1667.5}\right)\left(\frac{100s^2}{1667.5}\right)}{1800}\right]\times\frac{480}{10000}$$

$$=\frac{184}{50025}s^2-\frac{16}{50025\times3335}s^4$$

式中，$s\leqslant91.3131$ 度，若 $s>91.3131$ 度，需以 182.6262 度减之。s 为冬夏二至到所求日夜半的太阳实行度。

对于春分后的时日：

$$\delta=23.9141-g \qquad (15)$$

对于秋分后的时日：

$$\delta=g-23.8859 \qquad (16)$$

对于每日夜半定漏(D)，指每日夜漏刻长度的一半)的计算，边冈也运用了四次函数算式。其术文曰：

> 以消息数(g_1)，春分后加一千七百五十二，积分后以减二千七百四十八，即各其日晷漏母也。凡晷漏，为百刻。不满，以象积乘之，百约为分，得夜半定漏(D)。[③]

这里的 g_1 与上述 g 之间的关系为：

$$g_1=\frac{100}{48}g=\frac{460}{6003}s^2-\frac{8}{4004001}s^4$$

对于春分后的时日：



① 陈美东：《崇玄、仪天、崇天三历晷影长计算法及三次差内插法的应用》，《自然科学史研究》1985 年，第 3 期。

② 《新唐书·历志六下》。

③ 《新唐书·历志六下》。

$$D=\frac{1}{100}(1752+g_1) \tag{17}$$

对于秋分后的时日：

$$D=\frac{1}{100}(2748-g_1) \tag{18}$$

研究表明，式(15)和式(16)、式(17)和式(18)的计算精度均大体保持在原有的传统算法的水平之上[①]，它们也均以其简明和便捷的显著特点远胜前法。

边冈对曹士芀二次函数的继承和大幅度拓展，以及三次与四次函数算法的新创，构成了一个高次函数计算法的崭新数学模式，实现了中国古代历法中数学方法的又一次重大突破，成为同内插法并存和并重的数学方法，大大充实了中国古代历法代数学体系的内涵。“由是简捷、超径、等接之术兴，而经制、远大、衰序之法废矣”[②]，正指此而言。

（撰稿人：陈美东）



① 陈美东：《中国古代太阳视赤纬计算法》，《自然科学史研究》1987年，第3期；陈美东、李东生：《中国古代昼夜漏刻长度的计算法》，《自然科学史研究》1990年，第1期。

② 《新唐书·历志六下》。



第五章　两宋天文学家

第一节　马依泽

以往对于宋代与阿拉伯在天文学方面的交往，几乎一无所知。今从《怀宁马氏宗谱》载西域人马依泽来华参与编撰《应天历》和其父子均任司天监负责人一事得到启发，发现宋初三部历法均载有星期制度的算法；《武经总要》又有十二宫入宫日期的推算方法。这些在中国都是首次出现，应与马依泽父子的工作有关。又对宋初天文机构人事档案的考察证实，马依泽父子确曾长期担任过司天监负责人的职务。

一、《怀宁马氏宗谱》和《青县马氏门谱》

以往通常认为，阿拉伯天文学传入中国开始于元初的札马鲁丁。他于元世祖至元四年(1267)，向元朝政府撰进万年历，元朝政府在上都建立回回司天台，制造7件阿拉伯天文仪器，设立回回司天监，从此确立了回回天文学在中国的官方地位。

回回天文学之所以能在中国官方取得这种特殊的地位，一方面是由于中国境内具有众多的伊斯兰教徒，他们需要伊斯兰历进行宗教活动，另一方面也是由于回回天文学具有独特的不同于中国传统天文学的体系，它在某些方面比中国传统天文学更为先进。



然而，早在中国10世纪，伊斯兰教就已传入中国新疆南部，以后不断向中国西部地区发展。同时，在宋朝广大的腹地，已有大批的阿拉伯商人在各地活动，为了适应他们宗教活动的需要，便逐渐在各地建立起清真寺。因此，阿拉伯天文学也就不可避免地随之传入中国。早就有人对于宋代已传入阿拉伯天文学的问题有种种议论，但主要还只是出于推测，并无确凿的证据。

直到1968年，台湾学者罗香林发表《族谱中关于中西交通若干史实的发现》一文[①]，才开始突破这一局面。罗香林指出，在美国哥伦比亚大学东亚图书馆收藏有

① 罗香林：《族谱中关于中西交通若干史实的发现》，载台湾《中央研究院历史语言研究所集刊》，第四十，1968年；又引载于《中国族谱研究》，香港中国学社出版，1971年。

一套完整的《怀宁马氏宗谱》，其中《志尚公弁言》说：

> 吾族系出西域鲁穆。始祖讳系鲁穆文字，汉译马依泽公，遂以马授姓。宋太祖建极，初召修历，公精历学，建隆二年，应召入中国，修天文。越二年，成书，由王处讷上之。诏曰可。授公钦天监监正，袭侯爵。家陕西泾阳县永安镇。至十一世祖讳乾玠公，由进士累官河南太守，卒于官，遂籍新野。

由此罗香林指出，“若穷源竟委，则不能不谓其为肇启于宋初马依泽之自西域入华修历也。”

怀宁就是现在的安庆市。据此宗谱记载，其18世祖马哈直因于洪武二十二年(1389)任安庆左卫，故迁居安庆。马哈直之孙马义于明成化五年(1469)编修《马氏宗谱》，清光绪二年(1876)又经重修并刻版印刷，这就是流传到美国的版本。依宗谱记载，本文作者之一即为其来华第36代后裔肇字辈。

西域学者马依泽曾经参与编修应天历，在史书中从未见有记载，这条宗谱资料，自然会引起天文学史界的关注。又河北《青县马氏门谱·谱序》[1]说：

> 家乘犹国史，所以志以往而示今后，能知本源也，自宋时我祖依泽公，由西域鲁穆国来中，即于建隆二年，特授钦天监监正，原筑居陕西西安府泾阳县永安镇。经十余世迁居金陵，又数世我高祖仲良公于明朝永乐二年来直隶籍青县。……由十七世而下自我高祖仲良公，计缺四世。……
>
> 五世思聪、彦诚，大明成化二十二年岁次丙午，冬月。

据所载编撰时代，青县《马氏门谱》比《怀宁马氏宗谱》的初稿晚17年。马思聪等在编撰《马氏门谱》时大约是见过《怀宁马氏宗谱》的，他相信其本族为马依泽的后裔。但由于四世无闻，而“世传支派无存”，故仅以马仲良为青县马氏高祖。我们暂且不管青县马氏是不是马依泽的后裔，由于《青县马氏门谱》编于明成化二十二年，其中也提到“依泽公由西域鲁穆国来中，即于建隆二年特授钦天监监正”等，可见《怀宁马氏宗谱》有关马依泽的事迹，确是出于明成化年间的记载。



二、马依泽的生平事迹

从上文所引《怀宁马氏宗谱·志尚公弁言》即已知道，马依泽原系西域鲁穆国人。擅长天文历法和伊斯兰教义。于建隆二年来中国，应召参与编修历法。四年新历编成，授职司天监，以后并被封为侯爵。老年时定居陕西泾阳县永安镇。

有关封侯一事，在《怀宁马氏宗谱》中还有更详细的记载：“马依泽公，于建隆七

---

① 马肇曾：“《安徽怀宁马氏宗谱》引文”，《中国穆斯林》，1986年，第2期。



年丙寅八月十三日，诰授世袭侯爵，兼钦天监，光禄大夫右柱国。”建隆的年号共计3年，这里所说7年，实际是指赵匡胤称帝后7年，也即乾德四年(966)，干支纪年丙寅是相合的。明载确切的官职和爵位，也有明确的封侯日期，这决不能出于附合，应是确切可信的。

关于鲁穆国的具体地址，罗香林以为鲁穆与撒马儿罕以西的布哈拉首都阿兰谧读音相近，故他认为布哈拉应是他的故乡。但是，《明史》有《鲁迷传》，其《西域四》说：“鲁迷，去中国绝远。嘉靖三年遣使贡狮子、西(犀)牛。……礼官席书等言：‘鲁迷不列王位，其真伪不可知。’”仅嘉靖年间，鲁迷就曾入贡5次之多。《明史》中的鲁迷，可能就是《怀宁马氏宗谱》中的鲁穆，因此，不仅宋朝有鲁穆国，直到明嘉靖(1522—1566)以后仍然存在。另外，在《明史》所载西域29部中另有卜哈剌。这29部“由于疆域偏小，止称地面”。可见鲁穆国和布哈拉不是一个国家。

据明初来华翻译《回回历》的马沙亦黑的后裔收藏的《大测堂马》中堂挂轴[①]，载其来自鲁密国。又据《怀真堂马氏宗谱》[②]说，马沙亦黑是清真嫡派，其故乡在满凯以南120里的准带地方。满凯即麦加[③]。依据此说，宋明时代的鲁穆国应在阿拉伯半岛。马以愚曾依《多桑蒙古史》，阿拉伯人对土耳其卡安拉以东属地称为鲁穆。其名源于东罗马帝国。此二说的地域很接近。不过，马依泽必定是穆斯林，这可从其历法以金曜日为历元和他出生的月名记载得到证实。

关于马依泽的生平和来华后的活动，在《怀宁马氏宗谱·始祖考妣序》中有更详细的记载：

> 马依泽公，号渔叟。西域鲁穆国人。肇由来中，时建隆二年，岁次辛酉。旌表天文略部，授钦天监，世袭侯爵。筑居陕西西安府泾县永安镇，李尚书塔傍。来中时四旬，生于勒比阿敖勿里月第二十日，故于景德二年五月初十日。



可知他不但将自己的阿拉伯语名字音译成汉名，同时还根据中国人的习惯，取号曰渔叟。此处还载明了其生卒年月日，为研究他的生平提供了方便。按照该宗谱用实岁的传统，从建隆二年辛酉来华时40岁，可推知其诞生于公元921年；死于景德二年，即1005年。有趣的是，其生日用伊斯兰历表示，忌日用汉历表示。入乡随俗，生年和死年使用不同的历法，这是当时历史的实录。看来，古代人们并不懂得两种历日的换算方法，故只能以两种历日共载。伊斯兰历的月名都是用专名表示的，经查对，勒比阿敖勿里月，就是伊斯兰历三月 Rabia－al－awwel 的音译。前

---

① 这份手书《大测堂马》中堂挂轴，现今收藏于南京伊斯兰协会。

② 《怀真堂马氏宗谱》，北京民族文化宫有抄本。

③ 参阅冯承钧原编，陆峻岭增订《西域地名》，中华书局，1982年。

人将其译为赖比尔敖外鲁[1]，其音也相近。由 921 年伊斯兰历三月二十日和 1005 年农历五月初十日，便可推得马依泽生于 921 年 7 月 29 日，死于 1005 年 6 月 19 日。

三、应天历与阿拉伯天文学的关系

我们感兴趣的是阿拉伯天文学是否真的自宋初就开始传入中国，马依泽是否确实参加了编修应天历并且担任了钦天监监正(宋代称司天监)的职务。由于目前尚未见到其他证据，则应天历的实际内容，便是检验其是否吸取了阿拉伯天文学的唯一标准。

我们对应天历考查的结果认为，在应天历中，确实引进了阿拉伯天文学的成分，它在历日推算中不但明确地使用了以 7 日为周期的星期制度，而且具有伊斯兰天文学的特点，具体说明如下。

首先，应天历以宋建隆三年(962)前 4825558 年甲子岁为历元，其历元之日，适逢甲子、金曜日、朔旦冬至。这就是应天历“命从金星、甲子”算起的道理所在。将星期制度正式列入历法的推算之中，这在中国历史上还是第一次。早在东汉末年的刘洪等人，就曾制定过七曜历，但这种历法的具体内容均没有流传下来，估计所谓七曜历，只是从推算日月五星的行度而得名，与七曜的值日制度无关。

叶德禄[2]、薮内清[3]等人均指出，唐时翻译的佛经中已有七曜日的名称，至迟在晚唐时，历书中已有星期制度的标记。敦煌发现的唐僖宗乾符四年(877)残历中有九个“蜜”字，大致均衡地散布在七月至九月的历日间，他们均认为此蜜字是波斯摩尼教徒语星期日的音译。不过，如细加分析，前四个蜜字的间隔各为 8 天，后四个各为 7 天，前人对一日之差以刻字粗疏作解释。看来，将蜜字释作星期日是有道理的，例如，残历蜜字所对的九月三日、十日等，查陈垣《中西回史日历》确是星期日。因此，星期制度在晚唐时可能确已用于注历。但是，在当时颁行的宣明历中却找不到推算星期的丝毫痕迹，晚唐时中央政权衰弱，各地自行编印历书，可能是西北地区为了满足摩尼教徒的需要而采取的临时措施。



各国用七曜纪日的星期制度应有共同的起源，通常认为它首先是古巴比伦人发明的。各国七曜纪日的顺序，也都按照日、月、火、水、木、金、土排列。这里必须注意，应天历历元之日定在金曜日而非日曜日，并没有违反中国历法中历元设在各

---

① 郑天杰：《历法丛谈》，台湾华冈出版社，1977 年；又见《中国大百科全书·天文学》“伊斯兰历法”条，中国大百科全书出版社，1980 年。

② 叶德禄：《七曜历入中国考》，《辅仁学报》，1942 年，第 11 期。

③ 薮内清：《中国的天文历法》，日本平凡社，1975 年第二版。



周期起首的传统。由于伊斯兰教规定以金曜日为礼拜日，故应天历以金曜日为历元。事实上，伊斯兰历的历元设在公元622年7月16日也是金曜日。由此便可充分证明应天历与阿拉伯天文学的关系，同时也反过来证明了来自西域的马依泽确是伊斯兰教徒。

其次，在应天历中，有推算任何一年冬至的干支和星期的方法。它以10002为元法（即日法），以730635为岁总，岁总的5倍除以元法即为岁实（回归年）。所以，自历元至某年冬至的积日，便等于积年乘岁总的5倍，再除以元法。将积日减去840168的若干倍，其减余若减去60的若干倍，便得该年冬至的干支序数；减余若减去7的若干倍，便得该年冬至星期的序数。该历干支以甲子为起首，星期以金星为起首。这样，任何一年的冬至干支和星期便能直接求出。以上计算载在《宋史·律历志一》，可以用公式表示如下：

岁实＝岁总×5÷元法

＝730635×5÷10002＝365.24445（日）

元积＝岁总×积年

冬至积日＝元积×5÷元法

天正（冬至）盈日及小余

＝〔元积－840168〕×5÷元法

＝〔岁总×积年－840168〕×5÷元法

天正盈日减去60的若干倍，便得冬至的干支序数；天正盈日减去7的若干倍，便得冬至的星期序数。

为什么将积日减去840168这个数，便能得到冬至干支和星期呢？原来这个数等于420日乘以元法的1/5。由于岁总的5倍除以元法才等于岁实，故此数需除以5。而420为60与7的积，在积日中消去这个数的若干倍，是求该年冬至干支和星期的简化步骤。因此，该历在推算冬至盈日的方法中，是明显地包含有星期的周期在内的。



在推算某年冬至干支和星期的同时，也有推算十一月朔的干支和星期的方法。《宋史·律历志二》说：

> 推定朔、弦、望日辰七直：以天正所盈之日，加定积（视朔、弦、望中日，如入大小雪气，即加去年天正所盈日分；若入冬至气者，即加今年天正所盈之日分），日满七、六十去之[1]，不满者，命从金星、甲子，算外，即得定朔、弦、望日辰星直（和干支）也。

---

① 原文误写为“满七十六去之”，七十六之数不可解，今从王应伟之校刊改正。见王应伟《中国古历通解》，油印本。

此处的“七直”，义同七值，即7个星曜值日之义，也就是推算星期序数。“天正所盈之日”，在上文求冬至干支和星期时已经求得。此处的定积就是朔、弦、望的定日，它等于相应的中日（平均值）加减月离、日躔先后定数。先后定数可由历法中的月亮表、太阳表求得。

十一月朔的中日求法如下：

> 以月率去元积，不尽者，为天正十一月通余，以通余减七十三万六百三十五，余，半而进位，以元法收为日，不满为分，即得所求天正十一月朔中日及余秒。

以公式表示为：

中日＝［岁总－通余］×5÷元法

＝［岁总－（元积－月率×n）］×5÷元法

＝［岁总－（岁总×积年－月率×n）］×5÷元法

其中通余等于元积减去月率的若干倍。而元积等于岁总乘积年，其5倍再除以元法，就是冬至积日；应天历的月率为59073，它乘以5，再除以元法，就是朔望月：

朔望月＝月率×5÷元法＝59073×5÷10002＝29.530593（日）

因此，通余乘5再除以元法，就等于冬至距十一月平朔之间的日数，而岁总乘5除以元法为岁实。则岁总减去通余后的5倍除以元法，便是十一月平朔距去年冬至的日数。因此，十一月朔的中日，就是十一月平朔距去年冬至的日数。它经过太阳、月亮迟速运动的改正以后便称为定日，为十一月定朔距离去年冬至的实际日数。故以定日加去年冬至之盈日以后，若减去7的若干倍，便为十一月朔日的星期序数；若减去60的若干倍，便为干支序数。



确定了十一月朔日和冬至的星期和干支以后，其他各月朔日和二十四节气的星期和干支便很容易求得。因此，自应天历开始，任何一天为星期几，在中国历法上也有了明确的记载。

在中国历法计算中首先引进星期制度，这是应天历的重要革新，其影响是较为深远的，它的直接效用便是为在中国境内的穆斯林过礼拜和进行宗教活动带来方便，也为中国和阿拉伯历日之间的换算奠定了基础。这是应天历为了适应中国穆斯林的需要而进行的一项改革，其后的乾元历和仪天历，也都继承了这项改革，都有推算星期的制度。这是应天历对中国历法的一项贡献。

四、马依泽与应天历的关系

既然证实了应天历确定引进了星期制度的推算方法，则其受到阿拉伯天文学的影响也就确定无疑，从而也就证实了《怀宁马氏宗谱》所载马依泽曾经参与制定



应天历是有根据的。因此，马依泽的贡献不能埋没。

应天历的编撰过程，《宋史・律历志一》说："宋初，用周显德钦天历。建隆二年五月，以其历推验稍疏，乃诏司天监王处讷等，别造历法。四年四月，新法成，赐号应天历。"又说："建隆二年，以推步稍疏，诏王处讷等别造新历。"均载明应天历是王处讷等人造的，也就是说，应天历是王处讷与别人合作完成的。那么，这个主要的合作者应该就是马依泽。

关于王处讷的天文工作，在正史中有较详细的记载。据《新五代史・司天考》说："周广顺中(951—953)，国子博士王处讷私撰明玄历于家。"又据《宋史・王处讷传》说："王处讷河南洛阳人"。"留意星历占候之学，深究其旨。"汉祖时(947—948)，"擢为司天夏官正"、"判司天监事"。"广顺中(951—953)，迁司天少监，世宗以旧历差桀，俾处讷详定。历成未上，会枢密使王朴作钦天历以献，颇为精密。处讷私谓朴曰，此历且可用，不久即差矣。因指以示朴，朴深然之。至建隆二年(961)，以钦天历桀误，诏处讷别造新历，经三年而成为六卷。太祖自制序，并命为应天历。……俄迁少府少监，太平兴国初改司农少卿，并判司天事。六年又上新历二十卷，拜司天监。"

由此可知，王处讷是五代和宋初以天文历算为终身职业的专业人才，在司天监中历任司天少监、判司天监事、司天监等职，先后曾编制过明玄历、应天历和太平兴国新历等，毫无疑问王处讷是宋初的历法行家，而非挂名编历的政坛显要，故王处讷可能确是应天历的主要撰稿人。应天历的内容与中国传统历法一致，也证明了这一点。马依泽对应天历的主要贡献，在于帮助王处讷将阿拉伯的星期制度等，引进应天历的计算之中。

五、马依泽对宋初天文学的贡献



值得注意的是，《怀宁马氏宗谱・始祖考妣序》中提到马依泽授职司天监的原因，是由于"旌表天文略部"。其大意是说，由于他在天文各方面的工作成就而受到表彰，于是便授予司天监负责人的职务。

不过，"旌表天文略部"这句话的意义却比较含糊，似应理解为表彰其在天文各个方面的贡献。"略"字的意义可释作巡行、疆界、谋划等，在此处均可解释得通。有趣的是，近代史学家水子立在《中国历代回教名贤事略汇编》中"宋代名贤马依泽"[①]条说：

马依泽，西域国人。精历法。奉使入中国。建隆二年至汴。太祖见

---

① 水子立:《中国历代回教名贤事略汇编》，载《回教论坛》半月刊，第3卷第1、2、12期。又引载于《中国伊斯兰教史参考资料选编》，第660页。

即大悦，留备顾问，授钦天监正。占天象，考校汉唐以来，凡日月薄食，五星行度，推步精细，证前史多年之误。曾蒙帝手敕褒美。老爱秦中山水，携子孙卜居泾阳，因家焉。由是世为关中望族。

这条资料所载其天文工作，要比其他资料详细和具体得多。首先它记载说，马依泽是奉使入中国，并不是应诏修历才入中国的。这符合当时的实情。宋时的阿拉伯使节，大多由商人充任。他至汴京入见太祖后，便很受赏识，由于来自清真嫡派，又有学问，从此就被留在太祖身边担任太史一类的顾问官。这便是能够被封为侯爵的依据。既然可以封侯，那么让其担任司天监也就有可能了。

水子立把马依泽对宋初天文学的贡献主要归纳为占天象、考校日月食和五星行度。这就是说马依泽熟悉日月食和五星行度的计算，他所用的一套计算方法，自然与中国传统的方法不同。另外，马依泽还熟悉阿拉伯占星术，它与中国传统的星占方法不同，自成体系。预报日月食和为帝王进行星占，这是历代帝王最为重视的日常天文工作，故宋太祖将马依泽留备顾问，授职司天监，用其术与中国传统天文学相参考比较，以期达到最佳效果。这种情况，与唐代用印度来华并在钦天监中担任监正的瞿昙罗和瞿昙悉达等的性质完全类似。马依泽在星占和考校日月食等方面的工作做得很出色，故受到宋太祖的手敕褒美。御笔亲书的表彰应该是最高的荣誉了。因此，水子立的记载，实际就是《怀宁马氏宗谱》"旌表天文略部"的具体注解。二者的说法是一致的。

值得注意的是，水子立在介绍马依泽天文工作时，没有提及修订应天历一事。这一点很重要，它说明古人在为马依泽写传时并未注意到他曾参与修历，或者并不把参加修历看作是他的主要天文成就。同时还说明了为水子立辑录的古人所撰的马依泽传，一定是依据其他史料，并未见到过《怀宁马氏宗谱》，所以二者既相互呼应又互为补充。



有人以《宋史》未载马依泽受封侯爵和天文官很少得到高位为理由，怀疑宗谱所载马依泽事迹的可靠性。由于古代天文学与政权的特殊关系，在历史上，以擅长天文历数而获得高位的不乏其人，例如，西汉的北平侯张仓，王莽的国师刘歆，魏晋星占家陈卓，刘宋历法家何承天，唐代天文家李淳风，元代昭文馆大学士郭守敬等。当然怀疑的意见也有一定道理，只是没有考虑到马依泽这个人物的特殊性。

从应天历的内容来看，它仍然是一部中国传统的历法，又从《宋史》所载王处讷的身份来看，在编撰应天历时，马依泽似乎都处于辅助的地位。若是由于编撰应天历而使马依泽得封侯爵的可能性确实是很小的。但是，马依泽不是一般的历法家，他擅长中国天文学家所不掌握的阿拉伯占星术，而占星术正是历代帝王都极为关心的问题，宋代也不例外，下文将提及曾著《灵台秘要》的王处讷之子王熙元，就因



择日不当而受到降职的处分。马依泽带来的阿拉伯占星术，可能很得宋代帝王的赏识。

我们认为，水子立《回教名贤事略汇编》所载“留备顾问”一事，与袭封侯爵可能有着更密切的关系。由于马依泽不但精通天文历数，而且来自天方正宗，熟知伊斯兰教义，将其留备顾问，对于了解西域政治、地理和习俗，搞好与西域各国的睦邻关系，并治理国内众多的伊斯兰教民，都有着重要的价值，这应是袭封侯爵的直接原因。至于《宋史》未载其事，不能作为否定这一事实的正当理由。其所以不载，也许是与时人的排外思想有关。

我们再从正史考察一下，马依泽有没有担任司天监的可能。据《宋史·方技传》，宋初天文人物及其活动状况还是较为清楚的。赵匡胤掌权以后，司天监官为赵修己。他死于建隆三年(962)，这正是应天历即将编成的年代。应天历颁行以后，王处讷(915—982)授少府少监。太平兴国初(976)又改任司农少卿，并判司天监事。直至太平兴国六年(981)才授司天监，第二年去世，在职一年余。其子王熙元(961—1018)继承父业，端拱初(988)为监丞，迁春官正，景德中(1005—1007)同判监事，后拜少监，奉诏著《灵台秘要》，大中祥符间(1008—1016)拜司天监，坐择日降为少监。

吴昭素是太平兴国年间(976—983)改历的代表人物，他编制的乾元历于太平兴国六年(981)颁行。吴昭素在司天监中的最高职务为冬官正。参与修历竞争的还有徐莹、董昭吉等人，其职位也不可能高于五官正。

当时司天监中评判各家历法疏密的主要代表人物是秋官正史端。其子史序(935—1010)这时已经在司天监中任职，他于咸平四年(1001)编成仪天历颁行，于景德二年(1005)升任少监。



与此同时，在天文上较为活跃的还有苗训和苗守信(955—1000)父子。苗训在天文上的职务为翰林天文。苗守信曾与吴昭素合作制乾元历，至道年间(995—997)官至司天少监。还有两位专以星占起家的马韶和楚芝兰。在太平兴国至淳化五年间曾任判司天监事。值得一提的还有以制造浑仪著称的韩显符(940—1013)。他曾于淳化初(990)上表请造浑仪，官至春官正和翰林天文。

由此可见，宋初在天文学上活动虽然频繁，也曾出过不少人才，但在马依泽来华(962)至他死去(1005)的40余年间，这些天文人物除王处讷在临终前做了一年多司天监外，均未有人担任过司天监的职务，因此，《怀宁马氏宗谱》载马依泽曾长期担任司天监一事，应是确实可信的。

不但马依泽来华后在司天监中任职，其长子、次子也都在司天监中担任主要职务，《怀宁马氏宗谱》说：

马依泽公有三子。长子马额，字昭明，于太平兴国廿二年丁酉三月廿六日，奉旨袭侯爵、兼钦天监正。次子马怀，字望明，宋真宗咸平四年辛丑十一月廿一日，奉旨恩荫承德郎、钦天监监副。三子马忆，字思明，宋真宗天禧五年封龙虎将军、上护军副总兵。

太平兴国共八年，这里所说的太平兴国二十二年，实际是指宋太宗做皇帝以来的第22年，也即至道三年(997)。看来，《怀宁马氏宗谱》说马依泽长子马额于至道三年任司天监，次子马怀于咸平四年(1001)任司天少监均是历史事实。在王处讷于太平兴国七年去世以后，司天监一职大约仍由马依泽担任，直至他年老时，才上书太宗皇帝，改由其长子担任司天监，同时袭封侯爵。

古代的司天监，是帝王的御用机构，不但观测天象、颁布历法是其重要政事，为皇家占卜、选择吉日，也是其要务。前面提及的王熙元，就因择日出现差错而丢官；马韶、楚芝兰的去职，大约也与择日有关。宋初三代帝王对马依泽的择日技能大约均很赏识，故屡有封赏和表彰。

与此同时，其三子马忆授封龙虎将军、上护军副总兵等，也很引人注目。古时的行业，大多有世袭的传统。马忆之所以能很快升迁至军事上的显要地位，大约也与行军打仗需要占卜和择日有关。

宋仁宗庆历四年(1044)，曾公亮、丁度、杨维德等曾集体编辑完成一部重要军事著作《武经总要》。杨维德就是天文学家。在其后集中，载有行军打仗与占候的关系。其中《出军决胜杂占》引载庆历四年太阳入宫日期如下：

雨水　后一日入双鱼宫
谷雨　后五日入金牛宫
夏至　后六日入巨蟹宫
处暑　后四日入双女宫
霜降　后十日入天蝎宫
冬至　后四日入磨蝎宫
春分　后三日入白羊宫
小满　后五日入阴阳宫
大暑　后三日入狮子宫
秋分　后八日入天秤宫
小雪　后八日入人马宫
大寒　后一日入宝瓶宫

以上是简单的用以判断太阳入十二宫日期的方法，当时使用平气，十二宫则每宫为30度。节气和十二宫同属阳历性质，一旦确定以后，实际就可长期使用。可见当





时已有十二宫的推算方法。据前人研究，有关十二宫的名称，在隋唐时就已出现在翻译的佛经中。另外在翻译的天竺九执历中，也有周天分十二相和春分为羖首、秋分为秤首的名称，这就是白羊和天秤。然而在宋初以前，尚未见有推算十二宫的方法，《武经总要》所载，在中国文献中还是首次出现。十二宫与节气的关系，只有熟知西域天文学的人才能推算，可以推想，这应与马依泽父子的天文工作有关。当时马忆任军事要职，《武经总要》所载十二宫，也许就是他所提供的资料。以十二宫进行占卜，这是阿拉伯占星的特点，其占法在《明译天文书》中有详细记载。十二宫占法在军事上也可有广泛的应用，故收入《武经总要》。

从以上讨论可知，马依泽于建隆二年(961)自天方附近的鲁穆地方到中国入贡经商，很得宋太祖的赏识，从此便留备顾问并参与编撰应天历，将伊斯兰的星期制度第一次正式引入中国历法。马依泽不但熟知日月交食和五星方位的推算，而且精通阿拉伯天文星占，故当应天历于建隆四年(963)颁行以后，便授职司天监。又因马依泽来自天方伊斯兰正宗，熟知教义，便同时充任中国伊斯兰教务方面的顾问，于乾德四年(966)封为侯爵。除太平兴国六至七年王处讷担任司天监外，其余时间大约一直由马依泽担任司天监，直至太宗至道三年(997)致仕为止。退休以后，由其长子马额继任司天监并袭封侯爵。次子马怀也于真宗咸平四年(1001)任司天少监。将黄道十二宫用于星占是阿拉伯星占术的特点之一。为了有效地进行星占，马依泽父子便把黄道十二宫的方位及太阳入宫日期的推算方法引进中国天文学。这在中国天文史上也是第一次。由于阿拉伯天文星占在军事上的重要意义，其三子马忆也得以在军队中担任要职，并把阿拉伯天文星占应用于军事方面。因此，马依泽的来华，对于阿拉伯天文学传入中国，是建有特殊功勋的。



（撰稿人：陈久金、马肇曾）

第二节　韩显符

韩显符(940－1013)是北宋初年的天文学家。生于五代后晋天福五年。少年时就很喜欢学习天文，曾研究六壬、太乙、遁甲之类的“三式术数”，也很熟悉星辰、天象。入宋后，选为司天监生，不久被提升为灵台郎。

韩显符一生中的主要贡献是制造了两架浑仪：一架成于北宋至道元年(995)。铜浑仪功成之后，曾得到真宗皇帝的奖赏，赐给杂彩50匹，命司天监修筑一座新司天台，把这架新铸造的铜浑仪放置在台上。铜浑仪告成之后，韩显符升为秋官正，后又转任冬官正，从事天文观测工作。另一架浑议成于宋真宗大中祥符三年

(1010)。制成后安置在皇宫中的龙图阁。因制造仪器有功,他被提升为春官正加太子洗马衔。为了对仪器制造过程和仪器的使用性能进行解释,韩显符撰写了《铜浑仪法要》,共十卷。

韩显符制造第二架浑仪时,已届70岁高龄。他对浑仪的结构和性能素有钻研,是当时少有的天文仪器制造专家。宋真宗赵恒担心浑仪的制造和使用技术失传,命韩显符从官员或韩显符的晚辈中挑选有培养前途的人,进行传授,使之后继有人。于是,他就把制造和使用浑仪的技术及有关的各种心得,传授给他的长子承矩、次子承规(司天监保章正)和主簿杜贻范、保章正杨维德等,使他们后来成为有贡献的天文学家。

韩显符晚年升任殿中丞兼翰林天文官。卒于大中祥符六年(1013),享年73岁。

一、韩显符铜候仪的历史背景

中国传统观测仪器,一直以浑仪为主。浑仪也称为候仪,放置浑仪的司天台和司天官员有时也称为候台和候官。"候"即守候,表明当时人们对天体运行的基本规律已知。该出现任何已知天象时,只要派员守候加以观测就可以了;当然,"候"也包括敬候的含义,观察特殊天象,猜测其吉凶祸福,以顺适天象,趋吉避凶。对于候台、候仪、候官来说,敬天实际上是更为重要的任务,因而仪器又称礼器,是为帝王法祖敬天服务的,这是历代帝王重视天文的主要原因。究其实质,则是古代生产力和学识低下,人类依附大自然、敬畏大自然留下的历史痕迹。故候台也称灵台,仪器又叫法器,是从古代祭坛和祭器逐渐变演而来的。



有文献可考的历史表明,中国仪器铸造有着悠久的传统。到了北宋时期,由于几种因素的相互影响,更形成一股制造浑仪的高潮,这可以概略归纳如下。

(1)由汉至唐,历代学者所创仪器到北宋初期所存无几,残存者也很难使用。

(2) 盛唐以后,中国的工艺条件较为成熟。

(3)按中国传统惯例,一个新的王朝在政权稳定之后,总要在法祖敬天方面有所表示。

(4)在韩显符之前,张思训曾于太平兴国四年(979)献天象与时间联动的演示仪象台,其机械结构以木为主。设计加工虽甚巧妙,但这类以木结构为主的机械演示设备很难长期使用。

(5)韩显符看到了木结构演示仪象的局限,也了解前代仪器的疏略和不足之处,于淳化初年(990)向宋廷奏请铸铜候仪。铜候仪在结构上大为稳固和简化,在功能上则主要从事于观测。他的奏请很快得到批准。于至道元年(995)制成,用了



约5年的时间。

从中国传统浑仪发展史的角度来考察，韩显符铜候仪大体上是以晁崇、斛兰浑仪为基础而发展起来的。

由汉迄唐，浑仪从外表上看，经历了由小到大、由简单到复杂的变革过程。韩显符的铜候仪虽然以后魏时期太史令晁崇、斛兰铁仪旧法为准，但却注以新的内容：它使浑仪结构再次简化，但却增设了黄道环，从而承上启下，成为北宋仪象制造的一个新起点。

二、韩显符铜候仪制度

《宋史·天文志》载有韩显符铜候仪制度，其前言说："铜候仪，司天冬官正韩显符所造，其要本淳风及僧一行之遗法。显符自著经十卷上之书府。"这里，有两点应稍加说明：首先，《宋史·天文志》中所载之铜候仪是韩显符所造的第二架浑仪，这从书中所引韩显符职称可知，它应该较第一架更为完善，但估计两者相差不会太远；其次，从书中所载铜候仪制度中分析，所谓"其要本淳风及僧一行之遗法"显然是错误的。李淳风所创浑仪不仅尺寸要大得多，环架结构也增为三层，区别是很清楚的。

沈括在《浑仪议》中，有一段文字谈及有关浑仪的历史演变和相互承传的关系："唐李淳风为圆仪三重：其外曰六合，有天经双规、金浑纬规、金常规；次曰三辰，转于六合之内，圆经八尺，有璿玑规、月游规，所谓璿玑者，黄、赤道属焉；又次曰四游，南北为天枢，中为游筒可以升降游转，别为月道，傍列二百四十九交以携月游。一行以为难用，其法亦亡。其后率府兵曹梁令瓒更以木为游仪，因淳风之法而稍附新意，诏与一行杂校得失，改铸铜仪，古今称其详确。至道中，初铸浑天仪于司天监，多因斛兰、晁崇之法。皇祐中，改铸铜仪于天文院，姑用令瓒、一行之论，而去取交有失得。"文中至道间所铸浑天仪即韩显符铜候仪，所指承传关系也相当明确，因斛兰、晁崇之法从仪器结构中也可得到证实。至于采用梁令瓒和僧一行的论述，则是皇祐以后的事了。故沈括《浑仪议》可为前述承传关系的旁证。

《宋史·天文志》所载铜候仪文字不长，为讨论方便，转引如次：

> 铜候仪，司天冬官正韩显符所造……铜仪之制有九：
>
> 一曰双规，皆径六尺一寸三分，围一丈八尺三寸九分，广四寸五分，上刻周天三百六十五度，南北并立，置水臬以为准，得出地三十五度，乃北极出地之度也。以釭贯之，四面皆七十二度，属紫微宫，星凡三十七坐，一百七十有五星，四时常见，谓之上规。中一百一十度，四面二百二十度，属黄赤道内外官，星二百四十六座，一千二百八十九星，近日而隐，远而见，谓



之中规。置臬之下，绕南级七十二度，除老人星外，四时常隐，谓之下规。

二曰游规，径五尺二寸，围一丈五尺六寸，广一寸二分，厚四分，上亦刻周天，以钉贯于双规巅轴之上，令得左右运转。凡置管测验之法，众星远近，随天周遍。

三曰直规二，各长四尺八寸，阔一寸二分，厚四分，于两极之间用夹窥管，中置关轴，令其游规运转。

四曰窥管一，长四尺八寸，广一寸二分，关轴在直规中。

五曰平准轮，在水臬之上径六尺一寸三分，围一丈八尺三寸九分，上刻八卦、十干、十二辰、二十四气、七十二候于其中，定四维日辰，正昼夜百刻。

六曰黄道，南北各去赤道二十四度，东西交于卯酉，以为日行盈缩、月行九道之限。凡冬至日行南极，去北极一百一十五度，故景长而寒；夏至日在赤道北二十四度，去北极六十七度，故景短而暑。月有九道之行，岁匝十二辰，正交出入黄道，远不过六度。五星顺、留、伏、逆，行度之常数也。

七曰赤道，与黄道等，带天之纮以隔黄道，去极各九十一度强。黄道之交也，按经东交角宿五度少，西交奎缩一十四度强。日出于赤道外，冬至之日行斗宿；日入于赤道内，亦不过二十四度，夏至之日行井宿；及昼夜分，炎凉等。日、月、五星阴阳进退盈缩之数也。

八曰龙柱四，各高五尺五寸，立于平准轮下。

九曰水臬，十字为之，其水平满，北辰正。

以置四隅，各长七尺五寸，高三寸半，深一寸。四隅水平，则天地准。”

唐贞观初，李淳风于浚仪县古岳台测北极出地高三十四度八分，差阳城四分。今测定北极高三十五度以为常准。



三、韩显符铜候仪复原探索

由南北朝中后期起，直到清初为止，我国历代天文仪器概以景表尺为准，尺值为24.525厘米。可据以复原有尺值记载的史载天文仪器。韩显符所制铜候仪既然有制度可考，复原当无太大困难。问题在于，书中所载数据不够齐全，承传过程也往往有些讹误，特别是史书中有些数据是实数，可引以为据；有些则是近似值，工匠加工时可以改动；有些则是虚值，是按径一周三率套算的，研究时应使这类数据还原，然后再进行分析比较。

下面，我们不妨把韩显符铜候仪按《宋史・天文志》所列数据依次复核，附以换算为毫米的今值，以便能够和史载类似仪器做些必要的比较研究。列于表5－1。示意图见图5－1。



表 5—1　韩显符铜候仪各部件尺寸

部位尺寸 部件名称	史载数值 （表尺）	考订数值 （表尺）	换算数值 （毫米）
双规 （子午双环）	外径:6.13	5.81	1426
	围:18.39	18.26	4479
	广:0.45	0.45	110
	内径:5.23	4.91	1205
	缝宽:0.12	0.12	29
	环厚:0.04	0.04	10
游规 （四游双环）	外径:5.20	4.89	1199
	围:15.60	15.36	3768
	广:0.12	0.12	29
	内径:4.96	4.65	1141
	缝宽:0.12	0.12	29
	环厚:0.04	0.04	10
直规	长:4.80	4.80	1177
	宽:0.12	0.12	29
	厚:0.04	0.04	10
窥管	长:4.80	4.80	1177
	广:0.12	0.12	29
平准轮 （地平单环）	外径:6.13	5.81	1426
	围:18.39	18.26	4479
	广:0.45	0.45	110
	内径:5.23	4.91	1205
	环厚:0.25	0.25	61
黄道 （黄道单环）	外径:0.25	5.15	1264
	围:0.25	16.19	3970
	广:0.25	0.12	29
	内径:0.25	4.91	1204
	环厚:0.25	0.04	10
赤道 （赤道单环）	外径:0.25	5.15	1264
	围:0.25	16.19	3970
	广:0.25	0.12	29
	内径:0.25	4.91	1204
	环厚:0.25	0.04	10
龙柱	高:5.50	5.50	1349
水臬	长:7.50	7.50	1839
	高:0.35	0.35	86
	渠深:0.10	0.10	25
	宽:0.10	0.6	147
铜候仪	中心高:0.10	6.10	1495
	全高:0.10	9.00	2207



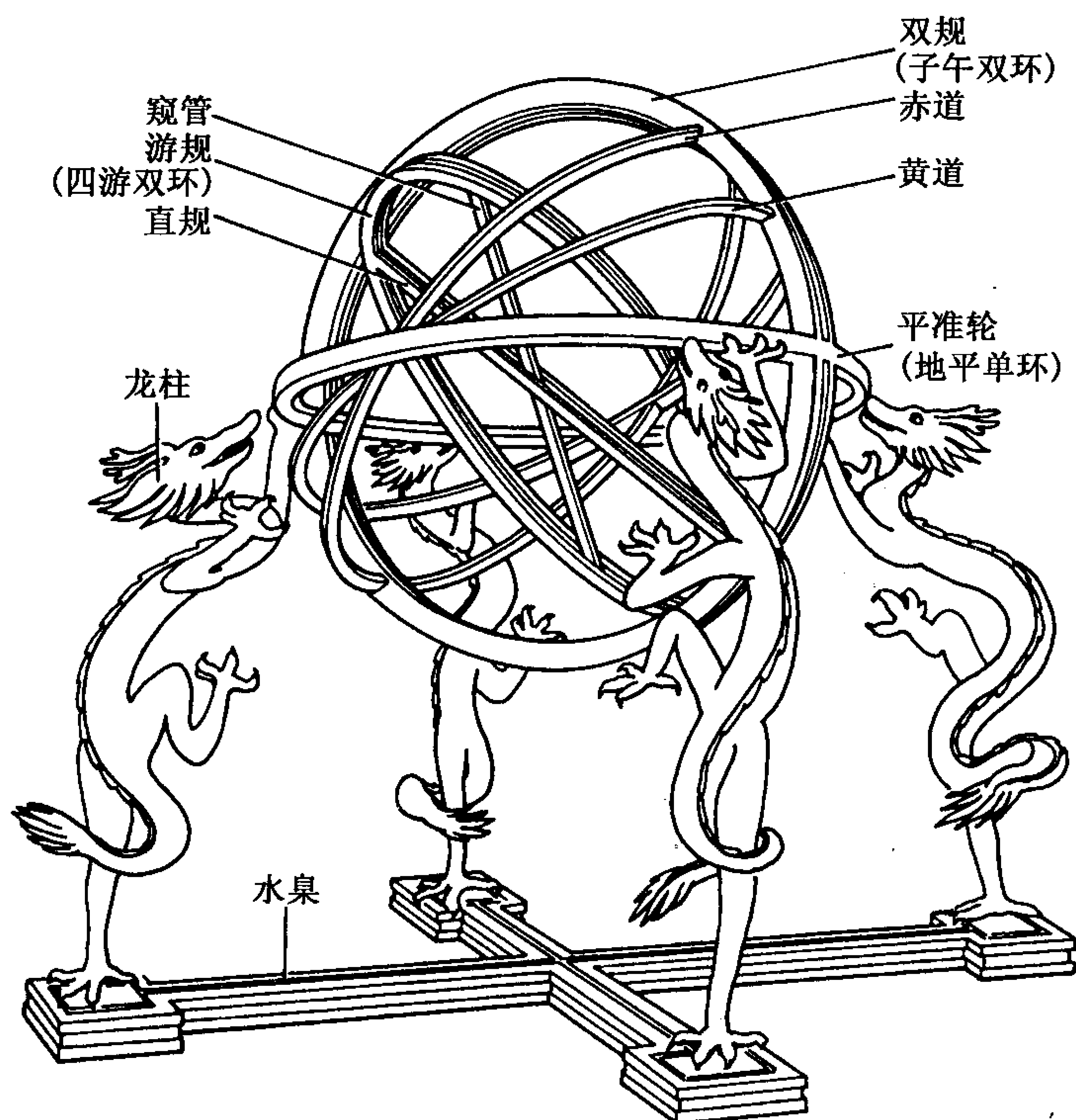


图 5－1　韩显符铜候仪示意图

表 5－1 所列数值应稍加说明：

(1)所谓史载数值包括据史载数值间接推导的有关数值。

(2)考订数值包括史载同类仪器对应部件的参考尺寸；一般来说，这类数据要通过反复验证方能采用。考订数值还包括对史书习惯引用的径一周三率的改正值。

(3)依中国古代制造仪器惯例，仪器圆环的周长一般都能被周年度数整除；韩显符铜候仪外径被周天度数整除后，合每度半寸；铜候仪游规内径被周天度数整除之后，合每度 4 分。问题在于：上述理想结果是考订后的数值，史载数值对此尚存有差距。虽然这些微量差值，大多可以加工余量或装配、废量误差来解释，但通过其他途径寻觅旁证还是必要的。

(4)表中值得注意的数值是铜候仪的全高。按考订后的数值，各部件组合后仪器全高恰为 9 尺(实际上还有 2 毫米误差)，显然比考订前的数值为优。如果再考虑到“九”为阳数，是历代司天礼器设计者非常注意追求的数值，就更不能用偶然巧合去解释，完全可以把它看成是旁证资料，而且也是很有说服力的。



四、《铜浑仪法要》

在铸造铜候仪的同时，韩显符还著有《铜浑仪法要》十卷，大体相当于浑仪的制造和使用说明书。前面所引《宋史·天文志》中的铜仪制度则为书中的章节。此外，书中还有二十四气昼夜进退、日出没刻数立成之法，合于宋代历象。《宋史·律历志》取其气节之初列表，这大约是《铜浑仪法要》一书至今仅能见到的少许文字，列于表5—2。

表5—2　铜浑仪法要

二十四气	日出	日没	昼刻	夜刻
冬至	卯四刻 一百四十四半	申三刻 五十一半	四十刻 五	五十九刻 一百四十二
小寒	卯四刻 一百一十九半	申三刻 七十六半	四十刻 五十五	五十九刻 九十二
大寒	卯四刻 三十四半	申四刻 十四半	四十一刻 七十八	五十八刻 六十九
立春	卯三刻 五十六半	申四刻 一百三十九半	四十三刻 三十四	五十六刻 一百一十三
雨水	卯二刻 五十八半	申五刻 一百三十七半	四十五刻 三十	五十四刻 一百一十七
惊蛰	卯一刻 四十半	申七刻 八半	四十七刻 六十六	五十二刻 八十一
春分	卯初 空	酉初 空	五十刻 空	五十刻 空
清明	寅七刻 八半	酉一刻 四十半	五十二刻 八十一	四十七刻 六十六
谷雨	寅五刻 一百二十七半	酉二刻 六十八半	五十四刻 一百三十七	四十五刻 十
立夏	寅四刻 一百一十九半	酉三刻 七十六半	五十七刻 六	四十二刻 一百四十一
小满	寅三刻 一百四十六半	酉四刻 四十九半	五十八刻 九十九	四十一刻 四十八
芒种	寅三刻 七十一半	酉四刻 一百二十四半	五十九刻 一百二	四十刻 四十五
夏至	寅三刻 五十一半	酉四刻 一百四十四半	五十九刻 一百四十二	四十刻 五
小暑	寅三刻 七十一半	酉四刻 一百二十四半	五十九刻 一百二	四十刻 四十五



续表

二十四气	日出	日没	昼刻	夜刻
大暑	寅三刻 一百四十六半	酉四刻 四十九半	五十八刻 九十九	四十一刻 四十八
立秋	寅四刻 一百一十九半	酉三刻 七十六半	五十七刻 六	四十二刻 一百四十一
处暑	寅五刻 一百二十七半	酉二刻 六十八半	五十四刻 一百三十七	四十五刻 十
白露	寅七刻 八半	酉一刻 四十半	五十二刻 八十一	四十七刻 六十六
秋分	卯初 空	酉初 空	五十刻 空	五十刻 空
寒露	卯一刻 四十半	申七刻 八半	四十七刻 六十六	五十二刻 八十一
霜降	卯二刻 五十八半	申五刻 一百三十七半	四十五刻 三十	五十四刻 一百一十七
立冬	卯三刻 五十六半	申四刻 一百四十九半	四十三刻 三十四	五十六刻 一百一十三
小雪	卯四刻 三十四半	申四刻 十四半	四十一刻 七十八	五十八刻 六十九
大雪	卯四刻 一百十九半	申三刻 七十六半	四十刻 五十五	五十九刻 九十二

韩显符的《二十四气昼夜进退日出没刻数立成》，春分时日出卯初空，即是卯初初刻；日没时酉初空，即是酉初初刻。则太阳正南方时应为午初。但在宋朝以前或以后，按中国古代时制的通常规定，不论在什么地方，正午时都是午正初刻，即午正空，或是午四刻，春秋分日出在卯正初刻，日入在酉正初刻。韩显符《浑仪法要》的时制比传统的时制提前了一个小时。这是宋初历法中时制的特点，到周琮《皇祐刻漏》时才改正过来。

所谓“立成之法”，在这里实际上是指事先计算好的表格，任何时候如求日出没和昼夜长短等时刻查表即得，有“速取其成”的意思。《宋史·律历志》仅择取其气节之初编表，看样子原表其他时日的计算结果也是齐备的，估计能有全书的十分之一的分量，即约有一卷为各类立成表格。我们从中可以了解宋代计时制度和起算标准，也可据此复原韩显符铜候仪上面的时环刻度，从而使一代古制再现人间和传流后世。

韩显符是北宋初期终生从事天文工作的学者。《宋史》虽然有传，但记载极其简略，想从中了解韩显符对天文事业的贡献几乎是不可能的。参考其他线索，我们



也仅能了解他是一位研究和制造仪器的专家，在北宋初期，他所设计的仪器曾起过承上启下的历史作用，为北宋时期仪器的进一步改造和完善打下了良好基础，其功绩是值得永远纪念的。

韩显符所著《铜浑仪法要》也曾对后来的学者有所影响。这部专著虽然以后失传，在当时却起过积极作用，沈括、苏颂等在改造浑仪时，都曾参考过《铜浑仪法要》。

苏颂在《新仪象法要・进仪象状》中，提及为"定夺新旧浑仪，寻集日官及检详应前后论列于证文字，赴翰林天文院、太史局两处，对得新浑仪系至道、皇祐中置造，并堪行用，旧浑仪系熙宁中所造，环器怯薄，水趺低垫，难以行使。"这段文字表明：苏颂筹建水运仪象台之前，韩显符在至道年间所铸铜仪的有关部件，已被利用、改造为"新仪"，存者仅为《宋史・天文志》中的有关记载，可供窥见一斑，如能据此复原铜候仪，显然是对韩显符最好的纪念。这对于进一步了解中国古代天文仪器变迁史也是有助益的。

（撰稿人：伊世同、车一雄）

第三节 燕　肃

我国宋代杰出的学者燕肃，在科学技术上有许多重大成就。

（1）研制成与提高天文观测精确度直接有关的精密莲花漏，并大力推广，促进了民用计时工作的发展。

（2）根据沿海航运和农田水利的需要，对海潮进行了长期实测和研究，写出了《海潮论》、《海潮图》等著作，对交通、农业的发展起了重要作用。

（3）研制成自汉代以来多次失传的指南车，对宋代机械工程的发展起了积极作用。

一、生平简介

燕肃（约 961—1040），字穆之，原籍青州益都（今山东省益都县）人，父峻生于北宋，后迁居曹州（今山东省菏泽）。

燕肃父母早亡，青年时家贫，负笈游学；成进士后任凤翔府掌刑狱的观察推官。以后历任临邛（今四川临邛）、考城（今河南兰考）等县及越州（今浙江绍兴）、明州（今浙江宁波）、梓州（今四川中卫县）、亳州（今安徽亳州）、青州、颍州（今安徽阜阳）、邓州（今河南邓州）等州地方长官；河南府（今河南省洛阳）通判；提点广南东路



(今广东)、广南西路(今广西)刑狱等主管刑狱的官员。在宋中央政府任过秘书官著作佐郎;监察官殿中侍御史、侍御史;管理建筑、营造的司官工部郎中;主持过刑部、审刑院、太常寺、大理寺的工作;最后,以龙图阁直学士衔礼部侍郎致仕。他一生担任宋朝的行政官员,自州县长官直到中央政府的高级官员。

北宋以前,中国经历了五代十国的长期战争和分裂,生产遭到很大破坏,给人民生活造成深重灾难,北宋重建了中央集权的统一国家。由于唐末农民起义打击了封建制度,削弱了农民对封建主的依附关系,北宋建国后农民的生产积极性和社会经济有了较大的提高和发展。这些正是燕肃所处时代的政治经济背景,也是当时一些廉明的官吏如沈括、燕肃等能够根据社会经济的需要,在从政之余积极从事有利于国家和人民的科学技术研究的原因。

二、创制莲花漏

1. 漏刻与天文学的密切关系

漏刻是我国自周至清中叶 2000 多年来一直用于计量时间的主要设备,是与天文观测有直接关系的重要仪器。

我国宋代在冶炼、铸造、机械等科学技术领域都有很大发展,为研制天文仪器提供了必要的条件。古代的主要天文仪器浑仪,在宋代无论从结构改进和精确度来说,都有很大提高,这就对计时设备漏刻的精确度提出了更高的要求。计时设备的精确度对天体测量的精确度有直接的作用。

2. 莲花漏的特点

宋以前漏刻在我国已有悠久历史。漏刻包括漏壶和刻箭,它的结构和原理是:在圆柱形容器壶侧壁的下部开有一孔,容器盛满水后,从孔中不断流出,容器的水位便不断下降;在容器中插一根下端带有浮舟的有刻划的竹或木杆——刻箭。根据刻箭在壶的顶盖上固定指标处指示的刻度,来指示相应于壶中水位下降所历的时间。刻箭也可置于漏壶下的一个受水壶中,根据受水壶水位逐渐上升,使刻箭上浮的位置来指示时间。前者称单壶泄水沉箭漏壶,后者为受水式浮箭漏壶,这是漏刻的最基本原始的构造。从史籍文献所载,及近年来出土文物可知,汉代的漏壶都还是单壶泄水沉箭式。



漏刻精确度取决于水流速度的稳定性。对于单壶式漏壶,由于泄水速度随壶中水位的降低而不断减慢,刻箭的下沉(或浮起)速度是不断减低的;而我国是世界上最早使用把一昼夜时间等分为 100 刻计时制的国家[①],因而刻箭上每刻的间距必

---

① 阎林山,全和钧:《我国固有的百刻计时制》,《科技史文集》,第 6 辑。

然是逐渐缩短的不等分刻划，应用这种单壶漏壶的计时精度是不高的，估计每天的计时精度要低于 1 刻①。

据《初学记》载东汉初张衡的《漏水转浑天仪》中的漏壶是“以铜为器，再迭差置”，可知那时已有二级漏壶。到晋、唐代已出现三级和四级漏壶。我国古代的多级漏壶，最多曾达到六级（图 5－2）。

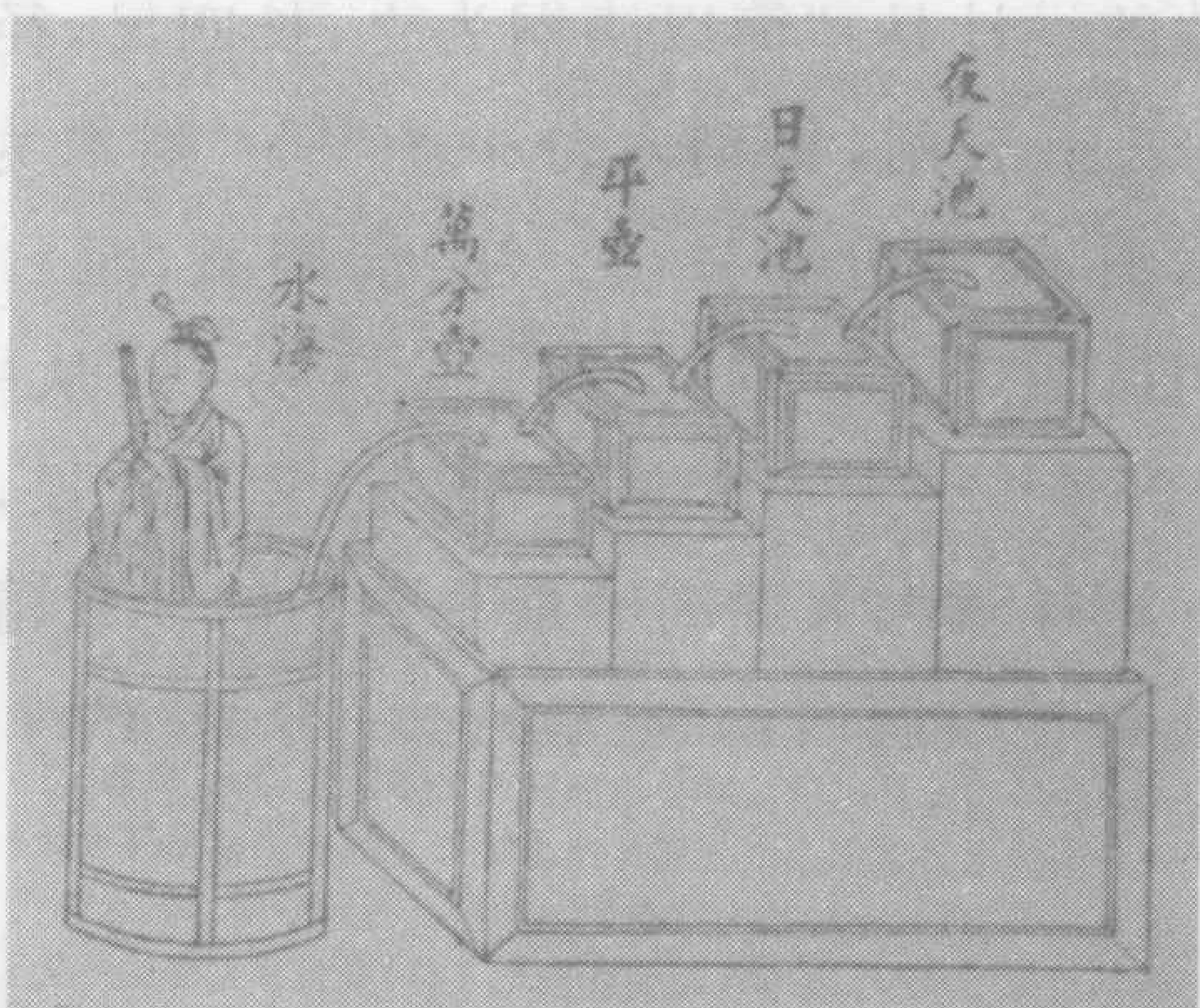


图 5－2　唐吕才漏刻图（采自《古今图书集成》转引宋《六经图》）

应用多只漏壶，上下相承，最上一漏壶中的水注入下一漏壶，逐次下流，最后注入受水壶中。这种逐级补充水量的方法，可以使最下一个出入壶的水位，得到相当程度的补充而比较稳定，提高了计时精确度。级数愈多精确度愈高。

多级漏壶使用不便，并没有真正解决出水壶流速稳定这个根本问题。

燕肃于宋仁宗天圣八年（1030）提出了莲花漏法。莲花漏是由于最下一个置刻箭的受水壶壶口状如莲花而得名。其法是仅使用上、下两匮（壶）。在下匮侧壁的上部开一孔连接一条下流的分水道，并使上匮注入下匮的出水口孔径大于下匮注入受水壶的出水口孔径。将上、下匮都注满水，开始工作后，由于上匮出水口大，流入下匮的水量大于从下匮流到受水壶的水量，这样下匮中的水位就能保持在分水口下缘，多余的水则从分水道泄到一个称为减水盎的容器中。下匮由于有了恒定水位，流入受水壶中的出水速度就相当均匀了。

采用这种分流装置以保持出水壶水位恒定，有效地提高了漏刻的精确度，摒弃了重复叠置、只数众多使用不便的多级漏壶结构，是我国漏刻发展史上的一大飞跃，是燕肃对天文学、计时科学和有关科学作出的巨大贡献。以后在皇祐初（1049—1053）舒历简等人改进的漏壶及沈括在《浮漏议》中提出的漏壶构造都承袭

① 全和钧，阎林山：《我国秦汉时代漏刻的精度》。

了这种漫流分水原理。

燕肃对漏刻刻箭的设计也做了改进。为了提高读数精度，就必须增加每刻时间在刻箭上的长度。燕肃采取了使箭在每昼夜间升浮 4 次的方式，即使漏壶在 25 刻时间中注满受水壶刻箭升完全程，然后重新使受水壶从零水位开始受水，使刻箭从零位置重新开始上浮。

从两段记载可知他的设计是："箭以漆桐为之，长四尺，径六分……上一尺六寸刻节候，中一尺五寸分二十五刻，每刻六分……"①；"剡木为四分之箭，以测十二辰，二十四气，四隅十六泊，百刻分布昼夜。注：箭四觚，而二十五刻，刻六十分，四面百刻，总六千分以效日，面千五百刻，昼夜总六千分。"②从中可以看到，箭的全刻划范围是 1 尺 5 寸，刻 25 刻，一天 100 刻的刻箭浮程达 6 尺，这是每昼夜仅浮升一次的刻箭很难达到的。这样就大大提高了最小分划的读数精确度。如按前一种记载，每刻分为六等份，读数时如能估读到三分之一分划（约 1 毫米），相应的时间约为 50 秒。（见图 5—3）

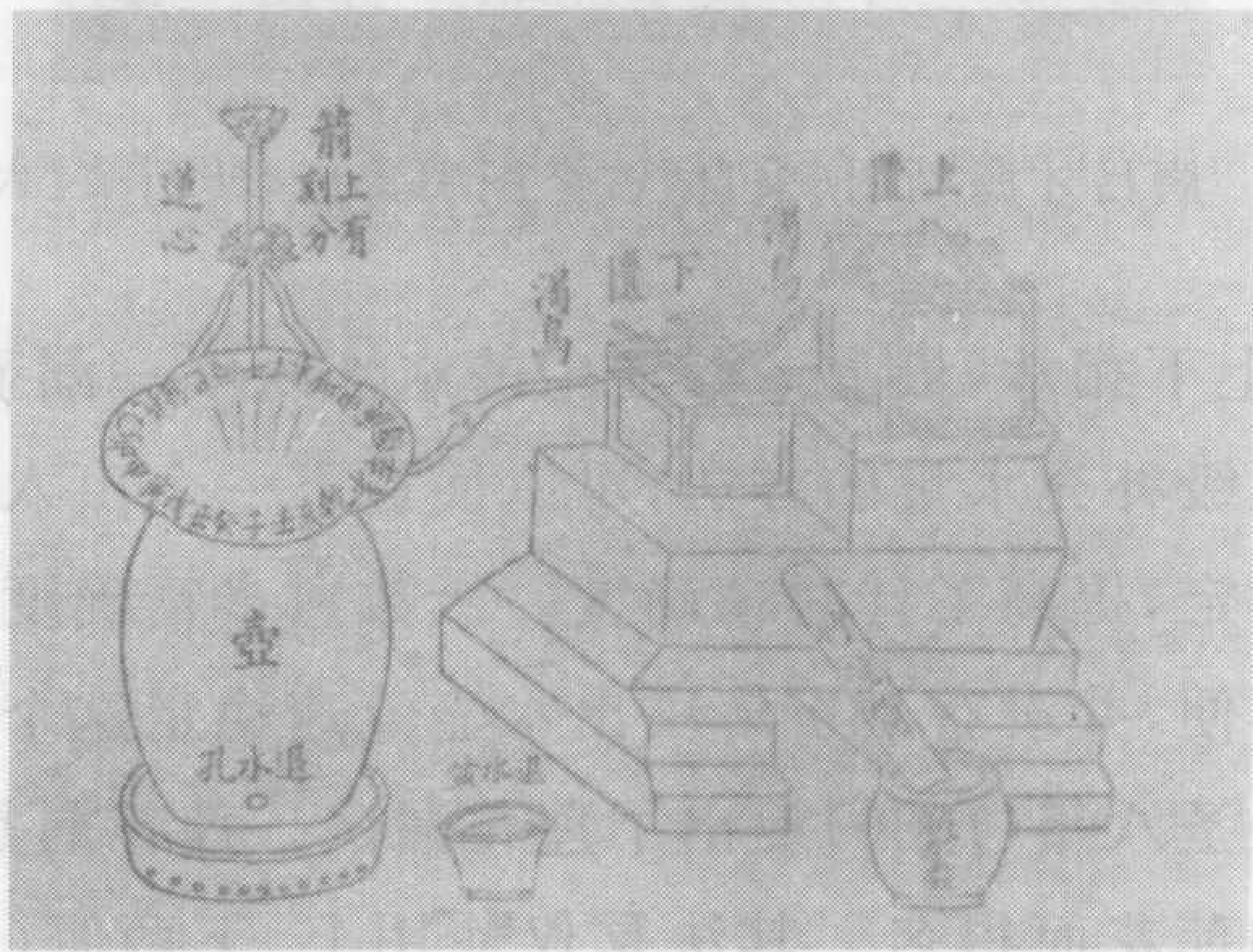


图 5—3　宋燕肃漏刻图（采自《古今图书集成·历法典》）

以后元赵友钦为精确测定恒星赤经差，设计了每昼夜使刻箭浮沉百次的漏壶，每个分划间距相应为 6 秒，是这种刻箭方式的进一步发展。

3. 莲花漏的普及与影响

燕肃的莲花漏是一种精确的漏刻，在天文测量及需精确计时的科学技术工作（如验潮）中，起了重要作用。

但作为一种计时设备，它在民用计时工作中更有着重要意义。

据《周礼》所载，当时即设有挈壶氏、司寤氏、鸡人分管昼、夜、黎明的时间工作。

① 《古今图书集成·历象汇编·历法典》，卷九九。

② 《玉海》卷一一。



《诗·齐风》中记载齐襄公(前 697—前 686)时,“朝廷兴居无节,东方未明,而召群臣至,使之颠倒衣裳,不顾时之早晚。”《史记》中记有齐景公(前 547—前 490)时司马穰苴与监军庄贾约会军营的事:“穰苴先驰至军,立表下漏待贾”,“日中而贾不至,穰苴则仆表决漏。”可见时间在处理公务中的重要性早已被认识。秦汉以来,时间工作更受重视,当时就应用漏刻计时,通过钟鼓讯号来统一时间标准。《汉杂事》:“鼓以动众,钲以止众,夜漏尽鼓鸣则起,昼漏尽钲鸣则息。”唐宋两代掌管时间的专职机构更为庞大,在京城内有着一套统一使用的标准时间系统。

随着社会经济的发展,京外各地方对时间标准也提出了相应的要求,漏刻的推广普及是其重要基础。

从地方志及其他文献中见到有关漏刻的记载,我们可以看出,没有任何漏刻像燕肃的莲花漏那样影响深远和应用广泛。

较早的资料是与南宋并存的北方金代的记载:金章宗“泰和元年(1201,南宋宁宗嘉泰元年)夏六月诏有司修莲花漏”[①]。在燕肃任地方官的省、府、州、县的地方志如《宁波府志》《四川总志》《潼州府志》《兖州府志》《中都志》《颖州志》《山东通志》《永嘉县志》《扬州府志》等,都可找到燕肃莲花漏的记载[②]。虽然上述方志大多为明清两代修订的,但如无燕肃莲花漏在该地所起的作用及前代文献的记载,是不会写进这一内容的。值得注意的是,莲花漏中的莲花只是燕肃漏刻中受水壶壶口的装饰,各地仿制及后代制造的漏壶,不一定都有莲花装饰,但均称之为莲花漏,它已成为漏刻的通称,足以说明其深远影响。

三、燕肃在潮汐学上的贡献



潮汐主要是日月引力造成的地球海面的周期性升降和水平运动。一天中,水面上升到最高为高潮,最低时为低潮。

太阳质量虽为月球质量的 2710 万倍,但日地平均距离为月地平均距离的 389 倍。因而月球引潮力为太阳引潮力的 2.17 倍,即月潮为太阳潮的 2.17 倍,潮水主要受月球的作用影响。在朔或望时,日、月黄经相等或相差 180°,两者引潮力叠加,这时的高潮最高,低潮最低,潮差最大为大潮。在上弦或下弦时,月潮被太阳潮抵消一部分,高潮最小,潮差最小为小潮。由于月球平均每 24 时 50 分在同一子午圈

---

① 《古今图书集成·历象汇编·历法典》,卷九八。

② 《宁波府志》,[清]雍正,卷一八,页一八;[明]嘉靖,卷二五,页九;《四川总志》,[明]万历,卷一二,页二二;《潼州府志》,[清]乾隆,卷五,页五八;《颖州志》,卷一二,页一六;《山东通志》,[明]嘉靖,卷三六,页二一;《永嘉县志》,[清]光绪,卷三七,页九;《扬州府志》,[清]雍正,卷三七,页三十,[明]嘉靖,卷六三,页五二;《兖州府志》,[明]万历,卷四〇,页一三。

上、下、中天各一次，使潮汐的平均周期为12时25分。

燕肃曾在明州、越州、广西、广东等沿海地区任地方官，当时东南沿海为航海贸易繁盛地区，又是农业发达区域。掌握潮汐规律，编制实用的潮汐表，对于农业、制盐业和航海业有着重要的意义。当时一些关心百姓而有才识的地方长官，除燕肃外，如余靖、吕昌明、徐竞等，都从实际验测潮汐出发，研究潮汐规律，编制出实用潮汐表。另一方面，唐以来天文学发展很快，对于日、月运行规律有了更精确的认识，为实用潮汐学提供了天文理论基础。

早在燕肃以前，唐代的窦叔蒙已认识到潮汐的规律有"一晦一明，再潮再汐"，"一朔一望，载盈载虚"，"一春一秋，再涨再缩"。即一日内有两次潮，一月内有两次大潮及小潮和一年内的两次大潮和小潮（分点潮），他并在《海涛志》中给出了实用的潮汐计算图表。

燕肃在潮汐理论和应用上作出了如下贡献：

（1）在潮汐理论上，他认为潮汐与月有密切的关系："月者，太阴之精，水者阴类，故潮依之于月也。"[①]肯定了王充提出的"涛之起也，随月盛衰"[②]的正确理论，和唐窦叔蒙、封演的潮与月有关的说法，同时否定了卢肇认为"日激水而潮生，月离日而潮大"[③]的错误观点。

（2）在唐窦叔蒙认识的基础上，燕肃进一步提出潮之生成"随日而应月，依阴而附阳，盈于朔望，消于朏魄，虚于上、下弦，息于朓朒，故潮有大小焉。"[④]对朔望有大潮，上下弦有小潮做了完整的描述，并认为即使在时间上稍有早晚，但潮水涨落总的是如期而至，"或迟速消息又小异，而进退盈虚，终不失于时期矣"[⑤]，虽然更早些时的唐李吉甫在《元和郡县图志》中已认识到钱塘江潮之大潮发生在每月的初三和十八，小潮在初十和廿五，但联系到燕肃对大、小潮发生在朔望和上、下弦的看法，他的认识是较完整的。



（3）燕肃从实际观测出发，得到在他观测地点的潮候。潮候或称潮令和月潮间隔，它是日、月同时上中天（朔）或太阳下中天、月亮上中天（望）的时刻与接着发生高潮时刻两者中间相距的时间。燕肃得到的时间为百刻制的4.165刻。"今起月朔夜半子时，潮平于地之子位四刻一十六分半。"[⑥]潮令对于每个港口都有其特殊数值，在古代这必须由实测才能得到。

---

① 燕肃：《海潮图论》；清俞思谦纂：《海潮辑说》。
② 王充：《论衡》；又见《海潮辑说》。
③ 卢肇：《海潮赋序》；又见《海潮辑说》。
④ 燕肃：《海潮图论》；又见《海潮辑说》。
⑤ 燕肃：《海潮图论》；又见《海潮辑说》。
⑥ 燕肃：《海潮图论》；又见《海潮辑说》。



(4)燕肃还认识到引起怒潮的原因在于河床上的沙滜,《海潮论》说:“……以下有沙滜,南北亘连,隔碍洪波,蹙遏潮势……于是溢于沙滜,猛怒顿涌,声势激射,故起而为潮耳。”

产生怒潮需具备三个条件:即河口呈漏斗形,由河口向上游水的深度很快变浅,进入河口的潮汐有相当大的潮差。钱塘江口有一巨大的拦门沙坝,使潮谷传播速度大大低于潮峰传播速度,潮水向上游推进时,潮峰潮谷位置逐渐接近而当两者重合时,潮水壁出如墙,如万马奔腾而至。燕肃认为沙滜是怒潮的起因这是正确的,但他不同意王充在《论衡》中提出的“殆下浅狭,水激沸起,故腾为涛”。[①] 漏斗形河口也是造成怒潮的一个原因,这是燕肃的不足之处。

需讨论的一个问题是,燕肃认为“今起月朔夜半子时,潮平于地之子位四刻一十六分半”,下面的一句“月离于日在地之辰,次日移三刻七十二分,对月到之位,以日临之次,潮必应之”的理解和解释。作者认为是指月移动之值 3.72 刻(等于今的 53.57 分),即朔后一天月亮中天迟 3.72 刻,潮亦相应做一定推迟,而不是指潮同样推迟 3.72 刻。紧接着再下一句“过月望,复东行,潮附日而又西应之,至后朔子时四刻一十六分半,日、月、潮水亦复会于子位”,说明了一个朔望月中大潮的周期。有的学者认为燕肃给出了潮水逐日推迟 3.72 刻的结论,是值得商榷的。因为引潮力大小因日月位置、日地与月地距离、日月地公共质的位置的不断变化而变化,其变化周期是十分复杂的。除朔望日大潮的到来于日、月中天后固定延迟一段时间(潮令)外,其余的任何一天潮水来到时间均不能简单地算得(时刻、幅度和相位),以月亮中天每天平均迟 50 分钟做粗略的估算,精确度在一二个时辰,可供古代航海时参考;而认为逐日固定推迟 3.72 刻,无疑是错误的。



燕肃对潮水的研究工作,需要做大量的实际观察,他的《海潮论》《海潮图》就是任明州知州时写的。《宁波府志》载燕肃于“天圣(1023—1031)中以司封员外郎知州事,作莲花漏于丽谯,著《海潮图》及《海潮论》。”《颖州志》载“又在明州著《海潮论》行于世。”他的《海潮论》曾在会稽(今绍兴)刻石。他在天圣八年(1030)进呈的莲花漏,正是在进行了大量潮汐工作之后制成的。他在《海潮图论》中说道:“大中祥符九年(1016)冬,奉诏按察岭外。尝经合浦,沿南溟而东,过海康,历陵水,陟思平,往南海,迨由龙川抵潮阳,泊出守会稽,移莅句章。以上诸郡皆沿海滨,朝夕观望潮汐之候者有日矣,得以求之刻漏究之消息。十年用心,颇有准的。”可以说明 1016 年后的 10 年中,他任沿海郡县长官时,观察海潮应用刻漏的事实。作为守时工具的刻漏,必须以天文观测经常校对,可以说莲花漏是由于天文学及实用潮汐学

---

① 王充:《论衡》。

的需要而产生的。研制成功后，不但用于天文及潮汐工作，而且推广成为民用的计时工具。

四、指南车

多才多艺的燕肃，在机械工程学上的贡献是制成了指南车和计里鼓车，后者较为简单，这里仅讨论指南车。

传说黄帝和周成王时都使用过指南车，不过其可靠性是值得怀疑的。以后汉张衡、魏马钧、刘宋祖冲之及后魏太武帝（拓跋焘，424—451 在位）、唐宪宗（806—820 在位）时均制造过指南车，且都是从头开始研制的。这是因为指南车自汉以来并非作为指示方向的实用设备，而是以皇权的代表，作为皇帝出巡中的主要仪仗之一出现的，因而改朝换代时均被破坏。在燕肃时代，指南车已是没有实际应用价值的礼品了。

文献资料中记载指南车的驭马、人数、外形、性能及内部结构的，只有《宋史·舆服志》。该志对宋仁宗天圣五年（1027）工部郎中燕肃及徽宗大观元年（1107）内侍省吴德仁上的指南车，均做了记载。

其规模制式及外形“赤质，两箱画青龙白虎，四面画花鸟重台，勾阑镂拱，四角垂香囊，上有仙人，车虽转而手常南指。一辕，凤首，驾四马。驾士归十八人，太宗雍熙四年（987）增为三十人。”堪称宏伟壮丽。

自 20 世纪初以来，中外学者开始对中国古代指南车进行研究，并力图恢复原型。提出的机械原理有自动离合传动、差动装置及棘软装置等。对古代指南车之研究正方兴未艾。本文不拟详论，仅指出这是一种精密复杂的机械结构，燕肃研制成功指南车代表了当时的高水平，对机械工程的发展起了积极推动作用。



燕肃不愧为我国古代一位学识渊博的科学家，而且是在繁忙的行政工作之余取得成就的。他的成就，在中华民族的科技史上，写下了光辉的篇章。

（撰稿人：全和钧）

第四节 刘羲叟

一、生平简介

刘羲叟（1015—1058），字仲更，泽州晋城（今山西晋城）人。其学术很受欧阳修的赏识，被推荐以后，曾担任大理评事、赵州军事判官，后改任编修官，又改任秘书



省著作佐郎。最后升崇文院检讨。

刘羲叟强记博闻，精算术，尤长于天文历法。欧阳修编写《新唐书》时，刘羲叟撰写其中的《历志》六卷、《天文志》三卷和《五行志》三卷。后欧阳修编写《新五代史》(原称《五代史记》)时，《司天考》一卷又由他执笔。

刘羲叟毕生献身于天文事业，曾系统地整理和研究中国古代的天文历法文献，写下了《十三代史志》、《刘氏辑术》、《春秋灾异》等书。这些著作虽然都已散失，但留给后人的影响却很深。《刘氏辑术》因被司马光的《资治通鉴目录》所引用而部分地保存了下来，使我们得以推知其概要。

刘羲叟的学术成就在当时就受到司马光、孙思恭等人的推崇，欧阳修则称其"历法为宋代第一"。南宋李焘也说："羲叟历学为宋第一，欧阳修、司马光辈皆遵用之。"[①]阮元在《畴人传》中评论说："羲叟遍通前代步法，上起汉元，下迄五代，为长术，于是气朔及闰，一一可考。其有功于史学甚巨也。"刘羲叟作历代长术，首开其端，后为钱大昕和汪曰桢、陈垣等人所效法，其后写成《宋辽金元四史朔闰考》《历代长术辑要》《中西回史日历》等，成为史学研究中一部十分有效的工具书。

不仅《刘氏辑术》具有重要的价值，他所编撰的《新唐书·历志》《天文志》和《新五代史·司天考》等，也都作出了重要贡献。

二、《刘氏辑术》

《刘氏辑术》已佚，仅能从《资治通鉴目录》中知其概要。司马光与刘羲叟是同代人，只是当司马光修《通鉴》时(1066—1084)，刘已去世。《刘氏辑术》起自汉高祖元年(前206)，终于后周世宗显德六年(959)，共历西汉至后周等14个朝代，计1165年。涉及的历法包括殷、颛顼、史记甲寅元、三统、后汉四分、乾象、景初、三纪甲子元、玄始、元嘉、大明、正光、兴和、大同、天保、天和、丙寅元、开皇、大业、戊寅、麟德、大衍、五纪、宣明、崇元等二十余部历法。刘羲叟首先弄懂这些历法的推算方法，并考订行用年代，按行用年代分别推算出它的气朔历谱。这是一件需要系统地掌握古代各种历法推算方法和付出艰巨劳动的工作，但正因为他付出了艰巨的劳动，才给后人研究史学带来很大的方便。



《刘氏辑术》的编排格式大体是这样的：首先列出纪年，然后载以各月朔干支。逢闰之年载明闰月及其下月中气的日数，改用新历时，在行用的第一年载明行用新历的历名。并尽可能收集历代主要天象记录，如日月食、五星凌犯等，载在每年月朔干支之后，以便校验。

① 《宋史·历志》。

例如,《通鉴目录》卷十八第一百六十五页载唐高祖武德六年栏说:"昭阳协洽,正丁丑,四丙午,六乙巳,八甲辰,十癸卯,十二壬寅朔。本志十二月壬寅朔,食南斗十九度。七月癸卯,荧惑犯舆鬼西南星。"其中"昭阳协洽"为西汉以前行用的类似于干支的纪年年号,相当于癸未年。中文数字为月数,月后的干支代表该月朔日的干支名。不载干支的月,表示前月为大月,日名天干同前月。该年二三月无朔日干支,表示正月、二月为连大月。十二月朔食南斗和七月癸卯荧惑犯舆鬼的记录,引自同代史志。阮元在《畴人传》中说:"史家编年之体,以日系月,例书甲子。然不知其朔,则甲子为可删。"有了朔日干支,便可得知其日数。如从该年六月朔日干支为乙巳,得七月朔干支为乙亥,便可推知七月癸卯为二十九日。不知朔日支干,是办不到的。

正因为这项工作对开展史学研究有着巨大的意义和长久的生命力,后人才在他的工作基础上做出进一步的努力。例如,耶律俨在辽史中撰《辽宋闰朔考》,续补了《刘氏长历》缺少的部分。清代的钱大昕,则作宋辽金元《四史朔闰考》,续补刘羲叟以后四个朝代的朔闰表。清末汪曰桢则参考刘羲叟长术的工作,著《历代长术辑要》。汪曰桢对历代所行用的历法和行用年代重新做了考证,纠正了《刘氏长术》中的一些错误,但其基本内容和格式几乎完全相同。《刘氏辑术》的创始之功是不可埋没的。

《刘氏辑术》是一项开创性的工作,又经历了上下1000多年的时间,各个时代所用历法和行用年限的考订难免发生错误。例如,刘氏认为"汉初用殷历,或云用颛顼历,今两存之。汉袭秦,以建亥月为正。今所纪月数,皆以夏正言之。"汉初究竟用何种历法?以何月为正月?是很不清楚的。直至汪曰桢仍然沿用旧说:殷历、颛顼历两共存之。直至20世纪70年代临沂元光历谱的出土,才解决了汉初行用颛顼历并以借半日法推算的问题[①]。又例如,刘氏以为汉太初历即是《史记·历书》中的历法,汪曰桢改以三统历推算,这是正确的,但将新历以正月为始,又不够准确(实是太初元年五月始行新历)。



战国秦汉时代,人们曾经设想出一种利用木星12年运行一周的周期来纪年,将天球沿赤道分为12等份,称作十二次,以木星所在星次来纪年,称为岁星纪年。人们又把十二星次与十二地支联系起来,但十二地支的排列方向与十二星次相反,不能对应,于是便假想有一天体太岁或太阴,运行周期与木星相同,方向相反,用以纪年,称之为太岁或岁阴纪年法。这十二地支纪年古人曾使用如下专有名称:摄提格(寅)、单阏(卯)、执徐(辰)、大荒落(巳)、敦牂(午)、协洽(未)、涒滩(申)、作噩

① 见《中国天文学史文集》第一集中有关论文,科学出版社,1978年。



（酉）、阉茂（戌）、大渊献（亥）、困敦（子）、赤奋若（丑）。与岁阴纪年相对应，又有岁阳纪年：阏逢（甲）、旃蒙（乙）、柔兆（丙）、强圉（丁）、著雍（戊）、屠维（己）、上章（庚）、重光（辛）、玄黓（壬）、昭阳（癸）。这样，纪年便可用干支及其异名来表示。例如，甲寅年即为阏逢摄提格，等等。用这些特殊的专有名称来纪年，与干支纪日的名称完全不同，故不易混淆，但由于这些名称复杂难记，东汉以后仍然为干支纪年所代替。至唐宋时代，人们早已习惯于使用干支纪年法，在刘羲叟的长历中，却出现了复古的倾向，一律用岁阴岁阳的专有名称来纪年。它仅仅是纪年名称的变化，对人们的实际应用是毫无影响的。但是，这一改变实在是没有什么科学意义。因此，后人的长历就完全摒弃了这一复古思潮。刘羲叟对一行的大衍历是做过研究的，对大衍历也很推崇，唐宋历法中主要是大衍历使用了“演纪上元阏逢困敦之岁”的特殊年名，《刘氏辑术》所用年名，可能是受到大衍历的影响所致。

三、《新唐书·历志》

《新唐书》由欧阳修和宋祁编修，但他俩都不精天文历算，《历志》六卷和《天文志》三卷，都由刘羲叟完成。《新唐书》始修于宋仁宗庆历四年（1044），完成于嘉祐五年（1060），刘羲叟完成《历志》、《天文志》等以后，随即去世，未能见到全书编完。

早在石晋时，刘昫就曾组织编修过《唐书》。欧阳修的《唐书》编成后，为了区别起见，前者称为《旧唐书》，后者称为《新唐书》。《旧唐书》前半部全采唐代官修实录和唐代的国史旧本，但长庆以后，无底本可据，便杂采各书，冗长失当，文字和编修的质量都比较差。《新唐书》克服了以上缺点，但应用史料却比《旧唐书》减少，故《旧唐书》也有保存史料的优点。

刘羲叟所著的《历志》、《天文志》，以内容翔实、系统可靠为特征。现就新、旧《唐书·历志》做一对比，便可看出两者水平的高低和成就的大小。



1. 旧历志所载三部历法

《旧唐书·历志》只收入戊寅历、麟德历和大衍历三部历法，其余全部略而不载；即使引载的这三部历法，也不完整，有许多重要的缺漏。而刘羲叟所编撰的《新唐书·历志》则遍求历法文献，详加考校，一一补足了这些缺漏：

（1）《旧唐书·历志》所载戊寅历是一残篇。无历元，前半部分残缺，仅存五星和交食的推步方法。因无推步日躔月离的方法和数据，其所载交食推步方法实即等于无用。而刘羲叟所撰则详载戊寅历编撰的政治历史背景，和历算博士王孝通对戊寅历的考核辩论的文献，以及崔善为等对戊寅历所做出的上元积年等的修订。新志不但补入了气朔、日躔、月离等推算方法，而且补入了推算日月不均匀运动的两份损益率和盈缩数表。这是我国有关日行盈缩数表的最早文献之一。它不但使

我们得知戊寅历的全貌，而且为我们研讨隋及唐初历法的发展历史提供了重要的线索。

(2)新旧《唐书》所载麟德历的内容是一致的，差异不大，但旧志却没有交待麟德历的行用情况。这一缺陷在新志中得到了补充，它不但介绍了麟德历的特点和编制过程，而且交待了行用过程中所遇到的一些其他问题以及变革的情况。例如，行用初期曾与太史令瞿昙罗所作的经纬历参用；弘道元年除夕后曾多置一天；永昌元年以后改用周正，神功二年曾命瞿昙罗作新历，神功三年罢新历，复用夏正；等等。如果没有新志的记载，对麟德历在行用过程中的这些具体变化就一无所知。

(3)开元十五年，大衍历草成，未及整理成文，也未来得及颁行，一行便去世了。诏宰相张说和历官陈玄景等将一行编制新历的手稿整理成文，得《历议》十篇、《略例》一篇、《历术》七篇。诏于开元十七年起颁行。瞿昙谍联合陈玄景指责大衍历抄袭九执历；南宫说也乘机诋毁。诏较灵台候簿，得大衍相合者十得七、八、九，执才得一二。批评的意见遭到否决。这些历史过程旧志均未涉及，被补载在新志中。张说等人依据一行的手稿编成的《历议》《略例》《历术》三个方面的内容，在旧志中仅采入历术一项，其余两部分的内容补载在新志中。

《大衍历议》是中国历法史上的名篇，也是一行毕生对中国历法史研究的结晶，具有很高的学术价值。旧志略而不戴，这是不应有的疏漏。因此，旧志质量较差的原因，一方面是由于作者掌握的历史文献较少，另一方面也是作者的天文学水平不高所致。

新志所载《大衍历议》有：历本议、中气议、合朔议、卦候议、卦议、日度议、九道议、日食议、五星议，共九篇。《略例》有：没灭略例、日躔盈缩略例、晷漏中星略例，共三篇。合计十二篇。与《新唐书·历志三》开头所说的"《略例》一篇"、"《历议》十篇"稍有出入。



2.补足旧志不载缺载的历法

旧志在评论唐代各家历法的成就和编志的宗旨时说：麟德历、大衍历以后，还行用过至德历、五纪历、正元历、观象历，"其法今存，而元纪章蔀之数，或异前经，而察敛启闭之期，何殊前法。至期征验，罕及研精。""近代精数者，皆以淳风、一行之法，历千古而无差，后人更之，要立异耳，无逾其精密也。景龙历不经行用，世以为非，今略而不载。但取戊寅、麟德、大衍三历法，以备此志。"

麟德历和大衍历确是唐代最著名的历法，为唐代许多历法所效法，但旧志以此全盘否定其他历法的成就，并且略而不载，这种过分偏爱的态度是不正确的。旧志作者缺少远见卓识，非但不去收集整理濒于散失的历法文献，即使现成的资料也当做废物给抛弃了。幸好新志及时抢救，才使得大部分历法文献免遭亡佚。



事实上，旧志所说“淳风、一行之法历千古而无差”，其余历法“至期征验，罕及研精”的说法是夸张的，也与事实不相符合。大衍历制定以后未及颁行，首次预报的开元十二年七月朔和十三年十二月朔两次日食便都不应验，就充分证明旧志“千古而无差”的说法失实。大衍历以后也曾有过几个好的历法，例如，正元历的近点月(27.55455日)和交点月(27.21222日)的数值在唐历中最为精密，与今测值一致；宣明历独创新法，设日食三差法，大大提高了预报日食的精度，又立新数以步五星，在“大衍历后，法制简易，合望密近，无能出其右者”；崇元历立算巧捷；符天历不用上元、以万分为日法。不能说大衍历以后历法没有进步，只是旧志的作者不明历法妄加菲薄而已。

唐代先后行用过戊寅、麟德、大衍、至德、五纪、正元、观象、宣明、崇元 9 个历法。旧志连晚唐时两部著名历法宣明历和崇元历的名称都未提及。除至德、正元两历早已失传外，新志全部补入。另外，也尽可能记载了唐代改历的历史，并尽可能地介绍了包括光宅历、神龙历、九执历、符天历等若干未及颁行的历法及其简略的方法和特征。刘羲叟的《新唐书·历志》，对于总结唐代历法史以及对于后代历法的发展，是立下了特殊功勋的。

除掉《历志》以外，《旧唐书》还载有《天文志》上下二卷；《新唐书》则载有《天文志》三卷。二书《天文志》都载有李淳风的黄道浑仪和一行的黄道游仪及浑象，载有浑仪构造和尺寸，载有二十八宿古今距度和去极度，二十八宿以外星的方位，一行领导的各地北极高度的实测，也讨论了十二次分野和天象变异等。两书大同小异，各自详略不一，各有特点。但总的说，新志比旧志更有条理，也更详细一些，其中尤以新志所载的天象记录特别丰富，包括日食、日变、月变、孛彗、星变、五星凌犯、五星聚合等。这些天象记录，在现代天文研究的应用方面，有着十分重要的价值。



在《新唐书》中，还载有刘羲叟编撰的《五行志》三卷，专载地上的灾变怪异，与天文学关系不大，恕不赘述。

四、《新五代史·司天考》

《新五代史》原称《五代史记》，为欧阳修私家所撰，仅《司天考》二卷[①]，由刘羲叟作成。直到欧阳修去世以后，宋朝政府才取出刊刻，正式定为正史。在此之前，已有薛居正于宋太祖年间监修过《五代史》。新胜于旧，新书既出，旧史渐废，元明以下，传本几至湮没。至清乾隆时才又重新辑录成书。

《旧五代史》有《历志》《天文志》各一卷；《新五代史》有《司天考》二卷。《司天

① 《四部总录天文编》等书误说刘羲叟撰《新五代史·司天考》一卷。

考》第一卷载历法，第二卷载天象，与《旧五代史·历志》《旧五代史·天文志》相对应。

五代虽历五朝，但合计仅50余年。又加改朝换代及战乱频繁，很少顾及历算。因此在后梁、后唐之际，仍参用唐代的崇元历和宣明历。至后晋高祖时，才由马重绩造调元历。行之五年，复用崇元历。后周王处讷私造明玄历，未及行用。周世宗时，诏王朴造钦天历，行至宋代初年。十国中，蜀有永昌历和正象历，南唐有齐政历，在民间则流传有万分历。

当薛居正监修《五代史》时，正逢宋朝统一不久，如注意收集的话，以上大部分历法都有可能收集齐全，可惜未予重视，在旧史《历志》中，仅载一部钦天历，还有重要缺漏。符天历、调元历等，都是我国历史上具有革新精神、别具特色的历法，《旧五代史·历志》不加记载，是很可惜的。至刘羲叟时，就难以见到了。

《司天考》卷一与旧志大体类似，主要仅载钦天历经。但按欧阳修的说法，"旧史亡其步发敛一篇，而在者三篇，简略不完，不足为法。"实际是，钦天历共分：步日躔术、步月离术、步五星术、步发敛术四篇。王朴在给世宗皇帝的奏疏中，也称有"步日、步月、步星、步发敛"四篇，是相合的。旧志不但缺漏步发敛一篇，而且在步日、步月二篇中，仅存法数，完全缺载推步方法。在钦天历中，步交食是附在步月离一篇中的。因此，在旧志中仅存推算五星的部分；气朔、日躔、月离、交食全都无法推算，确如欧阳修所说的"不足为法"。《司天考》补修以后，才始完备。

刘羲叟对钦天历的评价是很高的，他说："前世造术者，其法不同而多差，至唐一行作大衍历最为精密。后世善治历者皆用其法，惟写分拟数而已。至朴亦能为一家言。"钦天历是具有创造性的历法，王朴在制历之前曾进行过长期的天文观测，



获得精密的观测数据[①]，也吸收了宣明、崇元等历法的优点。例如，钦天历所用的近点月、交点月、日躔月离、五星周期等基本数据都是很精密的；采用宣明历创造的食差算法；更重要的是他"分月离为迟疾二百四十八限"，这样，推得的月亮实际行度就更为精密。汪曰桢评为"授时术以前未有细密于此者。"[②]

不幸的是欧阳修不精历术，他在修订《司天考》时曾删去日躔、月离、损益、朓朒及五星损益先后诸数表。汪曰桢在评论这一损失时深为感叹地说："其日躔月离损益朓朒及五星损益先后诸数，仍削不载，遂使大备之典终于不备。《刘氏辑术》又佚而不传，而朴术乃不得进创法十三家之列。后人依法推步，但能求平朔，不能求定朔矣。此欧阳氏不明步算，妄削之过也。"[③]

---

① 观测结果引载在《宋史·律历志九》上。

② 《历代长术辑要·古今推步诸术考》。

③ 《历代长术辑要·古今推步诸术考》。



“分月离为迟疾二百四十八限”,此数仅见《司天考》,末尾欧阳修引述刘羲叟的谈话。由于削去月离损益数表,钦天历术不载。王应伟认为此即钦天历中的“程节”,将248误写为800[①]

刘羲叟的《司天考》受到《旧五代史·历志》的影响,非议符天历和调元历的革新措施,对此两历略而不载,这不能不认为是《司天考》的一个缺陷。然而我们仍能从旧志和《司天考》中得知调元历的历元、岁实、万分日法和气朔继宣明、星纬宗崇元的特点。调元历学习符天历,不用上元,以雨水为岁首,以万分为日法,实即以十进小数运算,大大方便了计算工作。这种革新,第一次得到官方的承认,不能不认为是中国历法史上的一大胜利。

《司天考》卷二与《旧五代史·天文志》就内容来说,几乎完全一致,都是日月食和五星凌犯等天象记录,仅有旧志按分类编排,《司天考》按年代编排的不同。

(撰稿人:陈久金)

第五节 周琮

周琮生卒年月不详。据《宋史·律历志》记载,仁宗天圣七年(1029)校验历法时,因他推算的月亮和土星方位较为准确,奉诏将周琮的方法增补入当时行用的崇天历。这说明那时他已是司天监善历算的人员。仁宗皇祐年间(1049—1053),诏日官周琮等人改制圭表、浑仪和漏刻。他们不但按计划制成这三件仪器,而且立即用它们做了实际观测,测定全天360个星座的方位,写出了《岳台晷影新书》。嘉祐年间(1056—1063),他升任殿中丞、判司天监。嘉祐末年和英宗接位以后,受命与司天冬官正王炳等制作新历,3年历成,赐名明天历。周琮曾写《义略》一文,对历法中各天文数据的来历做了说明。新历只行用了3年(1065—1067),神宗皇帝继位,明天历即被废止不用。



从以上的介绍可以看出,周琮在司天监从事天文历算工作达40年之久,生活于真宗、仁宗、英宗三个朝代(11世纪初至60年代)。先后做过天体方位的推算,天文仪器的研制,恒星方位的测定,节气时刻的精密测定,制定明天历等天文历算工作,天文知识比较全面,贡献也是多方面的。

一、制作圭表、浑仪和漏刻

皇祐初,周琮、于渊、舒易简同时受诏改制浑仪、漏刻和圭表,其改制前的情况

① 《中国古代通解·钦天历》第三卷第二册(油印本)。

及新制仪器的结构和性能，分别写有《皇祐浑仪》、《皇祐漏刻》、《皇祐圭表》三文，载在《宋史·律历志九》中。

1. 制作浑仪

东汉永元十四年，曾经设计制造了一架黄道浑仪。正如《续汉书·律历志》所说，由于"仪，黄道与度转运，难以候，是以少循其事。"难以实际使用，直到唐代，李淳风才做出改进，在三辰仪的赤道环上刻有二十八宿的距度，克服了这一困难。由于李淳风不承认有岁差，所以他没有将黄道环做成可以在赤道环上移动，因而年代久远之后就不能使用。针对这一缺点，梁令瓒做了改进，制成黄道游仪，即取其黄道能在赤道上游动之意。一行利用这架仪器，做了很多有益的工作。

在宋真宗时，韩显符也曾制作一架黄道浑仪，并保存了下来。与李淳风的浑仪相仿，三辰仪中的"黄、赤道相固不动"。由于岁差的关系，黄、赤道的交点在不断移动，韩显符制作的浑仪因二道相交固定不动，便不能长期使用。因此，至仁宗皇祐时周琮等人才受命重制浑仪。

周琮等人所造的这架黄道游仪完成于 1051 年，共用铜 1 万千克。外环直径 7.76尺，制作较为精密。制成后置于翰林天文院之候台上。这是著名的宋代四大浑仪之一。其余三架浑仪由韩显符、沈括和苏颂制作。

这架浑仪的结构与梁令瓒的浑仪基本一致，但也做出二项改进：

（1）中国古代早就利用太阳昼夜的时角变化来表示时间，但它是用赤经的变化来表示的。人们把昼夜二十四时制或百刻制与地上二十四方位对应起来，这是很不准确的，会带来较大的误差。由于传统观念的影响，在制作浑仪时，也把昼、夜十二时和百刻刻于浑仪的地平图上。周琮改在赤道环上刻出昼夜的时段，这相当于现代赤道式天文仪器的时盘。利用这一刻度，会大大便利于天文观测。周琮等人发现了这一问题，在制作浑仪时改刻在固定的赤道环上，从而纠正了这一贻误千年的错误。这种发现虽然并不困难，改进起来也很容易，但改进之后所起的作用却十分重大。

（2）为了将浑仪放在水平的位置，从北魏铁仪起，就开始利用在仪器的底座上开水平沟，将水注入沟内，以便判断仪器放置得是否平正。但是，采用这种方法还不能把水平定得很准确。在科学技术发展到宋代时，这一矛盾便突出起来，周琮等人在制作新仪时，在六合仪的地平环上再加一圈水平沟，解决了仪器水平方位的调整问题。

周琮等人在制作浑仪时的这两项创新，以后一直为人们所习用。

2. 制作漏刻

漏刻是我国古代最常用的计时仪器。原始的漏刻大约就是一只壶底开有一个





小孔的装置。壶内装有一支带有刻度的箭，因而这种壶也称做箭壶。随着壶水不断从小孔中流出，利用壶箭逐渐下沉来计时，称为沉箭式。东汉以后出现了浮箭式的漏刻装置，即将箭壶和漏壶分开，漏壶的水注入箭壶，利用壶水不断上涨计时，所以称之为浮箭漏。使用时需不断地给漏壶加水。即使这样，壶中水位也时有起伏。水位的高低使得出水孔处的水压发生变化，因而流速也不均匀。后来人们便发明使用多级漏壶的方法来克服这一缺点。唐时发展到使用四级漏壶，但水位仍不够平稳。宋仁宗天圣八年，燕肃发明莲花漏，只用两个漏壶，在第二个壶的一定部位开一分水孔，利用分水孔进行调节，使得漏壶水位保持恒定。这一方法为景祐年间的章得象所肯定和推广。

后来发现，景祐漏壶也不理想，“常以四时日出传卯正一刻”，“二时初末相侵殆半”。[①] 皇祐初年，诏周琮等人“更造其法”。周琮等人经过研究，认为景祐漏壶不准的原因，在于平水壶的水位仍不够稳定。因此，他们用再加一个平水壶的方法来克服这一缺点。新的漏刻于1050年制成，后置于文德殿的钟鼓楼上。周琮的这一改进措施是很有效的。使得水位的稳定性有了很大提高。这种结构后来被人们稍做改进，成为中国古代常用的计时仪器。

周琮等人所做的改进措施受到宋代著名科学家沈括的肯定。沈括所制作的漏刻也使用了两个平水壶，虽然形制稍异，其原理和作用是一样的(图5—4)。

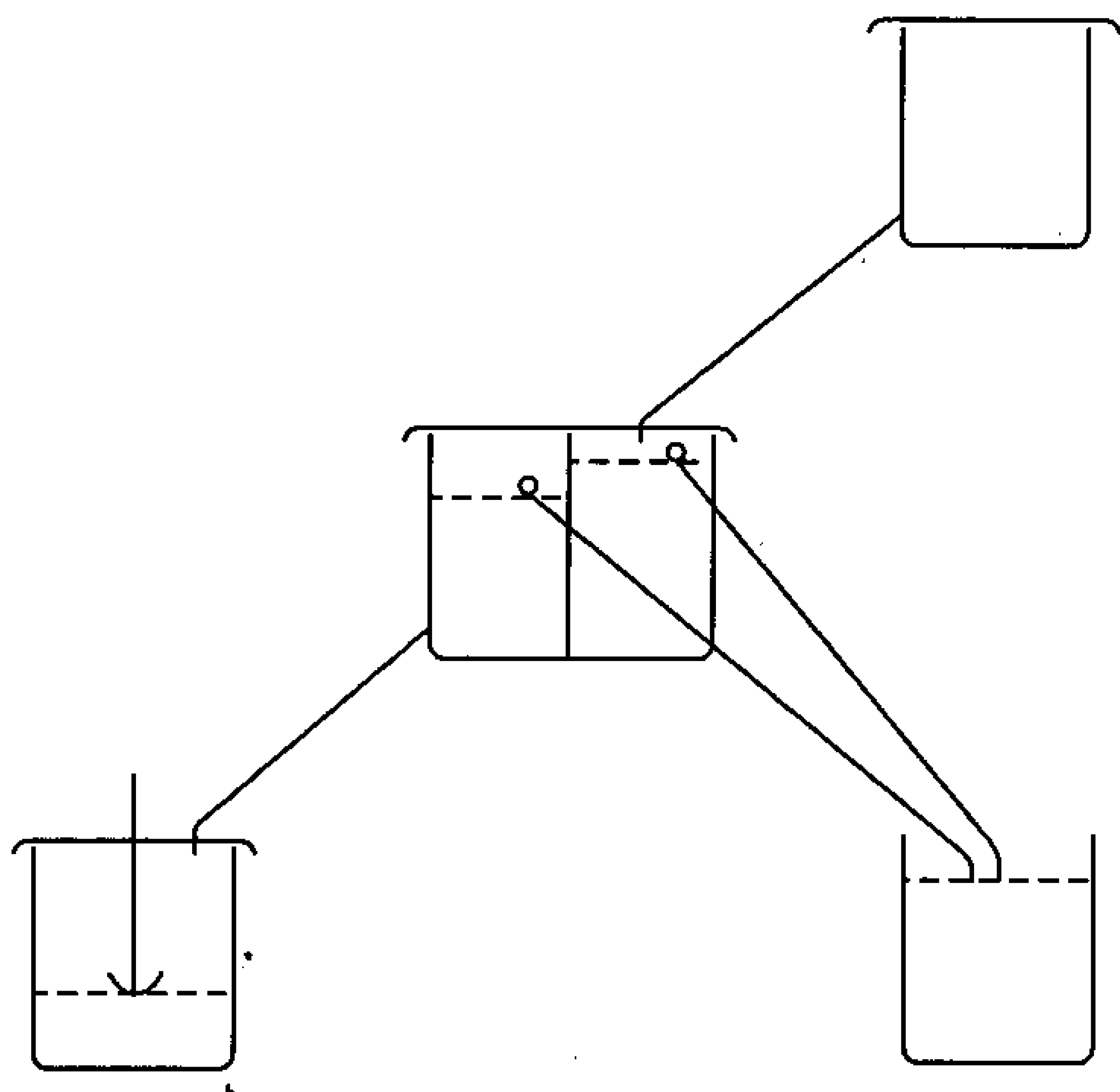


图5—4 沈括根据周琮的原理改进后的浮漏示意图



3. 制作圭表

直到仁宗时代，司天监仍保存有原石晋时天文参谋赵延乂所造的圭表。但表

① 《宋史·律历志九》“皇祐漏刻”。

已经是倾斜不正了，圭面也凹陷不平，无法做出正确的测量。因此，皇祐元年(1049)，宋朝政府授命周琮等制造圭表，同年冬天圭表制成。后长期置于司天监中进行测候。

为便于进行数字换算和与古代资料进行对比，周琮等所制的圭表仍用八尺长的铜表，表厚2寸，宽4寸，下面石圭长1.3丈。为了便于将圭面放平，圭面刻有双水沟。在沟的两旁刻有尺寸数和在岳台地方的二十四节气晷影尺寸。

新圭表制成后，便立即投入使用，做了连续三年的二十四节气晷影实测。对实测结果与五代王朴所测的数据进行对比研究，认为比王朴所测精密。周琮把这一研究结果写成一本《岳台晷影新书》。

周琮等人所制的圭表自然是属于仿制品，没有多大创造，但他利用新制圭表所做的观测工作，却取得了很大成就，为历法改革作出了积极的贡献。

二、恒星方位的测定

历法的频繁改革对恒星观测提出了进一步的要求，而浑仪制造的成功又为恒星观测准备了必要的条件。因此，促使宋代的恒星观测取得了空前的成就。据初步统计，宋代共进行过7次恒星方位的观测[①]：即太平兴国四年(979)、大中祥符三年(1010)、仁宗景祐元年(1034)、皇祐三年(1051)、神宗元丰五年(1082)、哲宗绍圣二年(1095)、徽宗崇宁五年(1106)。

皇祐三年所做的恒星观测，是由周琮等人完成的。在观测中他们使用了自己新制造的浑仪。由于是黄道游仪，他们便很方便地测得二十八宿的黄道和赤道距度。这两套数据都引载在《皇祐浑仪》一文中，在《明天历·义略》中，也载有皇祐年间测定的二十八宿赤道距度。



对于二十八宿的距度，自从汉代测定以后，人们几乎一直沿用不改，直到唐代一行制定大衍历时，才做了新的测定[②]。自此以后，又一直为人们所遵用。不过，唐开元年间的这次测量并不很精密。至宋代，景祐和皇祐年间也做了二十八宿距度和去极度的测定工作。[③]

皇祐恒星观测更重要的价值还在于对全天星座做了一次系统的观测。观测结果被引载在王安礼重修的《灵台秘苑》中。据潘鼐的统计，皇祐星表总共观测了283个星官中的360颗星的位置，它代表了1464颗恒星的距星和主要星。与古代传统的星数相比，仅缺少离宫6星和少丞1星。这份星表包括星座名称、星数、相

① 潘鼐，王德昌：《北宋的恒星观测及宋皇祐星表上》，《科技史文集》，第10辑，1983年。

② 《旧唐书·历志三》。

③ 《宋史·天文志四》。



对位置、距星、入宿度和去极度六项内容。据此可以准确地做出我国传统星座和恒星的证认工作，并由此画出准确的星图。因此，皇祐星表是我国古代恒星天文学方面可靠的典型星表，是世界上现存的少数几份古星表之一，具有很重要的科学价值。

三、测晷影定冬夏至时刻和回归年长度

周琮利用皇祐元年新制的圭表，在皇祐元年小寒至皇祐四年立冬的3周年间，连续测定了各个节气日中时的晷影长度，并与自己和五代王朴的推算结果相比较，写成《岳台晷景新书》。他认为自己所得尺寸比王朴的较为精密："所算尺寸，与天测验，无有先后。"由此便推定岳台晷影周岁算数，即每天日中影长。

周琮所做的连续三年节气影长的实测结果，是世界上现存最完整的日影观测记录，是一份很有价值的科学文献，不但为他本人以后制定明天历时提供了重要的观测数据，而且为后人提供了可供长期应用的天象记录。

利用这份记录，首先可以准确地推定季节。唐宋之际，虽有推算定气的方法，但仍用平气注历。要准确地确定季节，仍然只是推定冬、夏至。

早在南北朝时代，祖冲之首先发明利用冬至前后二十二、二十三日日中影长准确地推算冬至时刻的方法，后人都相继效法不改。直到周琮时才将祖冲之的方法加以推广，以期求得更精密的时刻。周琮所以能做出这项革新，是建立在他连续三年观测实践基础之上的。周琮认为推求冬至时刻，并不一定要局限于利用冬至前后二十二、二十三日的日影，如果日影的变化率加大，求得的时刻将更加精密。于是便提出使用立冬、立春的日影来推求。周琮利用日影变化率最大时节的日影来推算冬至时刻，原来只是一种设想，也是一种原则，它原本并不限定在立冬、立春。为周琮所提出的原则，实际就已打破了利用一组观测值推算冬至时刻的界限。



由于其他因素的影响，利用立冬、立春日影求出的冬至时刻未必比祖冲之法更精密，但却可以互相比较，将冬至时刻定得更准确。它纠正了崇天历后天半日的误差，这一改正为后来的治历者卫朴所接受，承认崇天历后天。

周琮实测晷影所取得的另一个成就是利用它推得更为精密的回归年数值。在此之前，唐宋各家历法所用回归年长度都在365.2444日以上，是较为粗疏的。周琮通过自己所测定的冬至时刻，再与历史上所测冬至时刻相比较，终于推得365.2436日的较为精密的数值，这一数值为以后各历法家所公认，被以后的10部历法所沿用，可见它的影响是较大的。

四、调日法的总结和应用

中国古代历法中各天体运动周期的零数部分，其中以朔望月的零数部分为主，

都是用分数来表示的。其分母称为日法，它的基本意思即是指将一日分成若干份的总份数。中国古代所用日法的数字是各种各样的，而且往往数字很大。授时历废积年日法以后，人们对日法的来历就不清楚了。这些日法的数据是怎么得来的呢？对中国古代历法不大熟悉的人往往感到迷惑不解。关于这个问题，清初的李锐曾著《日法朔余强弱考》，基本上弄清了这一问题。

李锐悟出日法朔余的道理，首先是从周琮《明天历·义略》中得到启发的。除此以外，几乎很少见到其他文献记载有关于日法的推求方法。《义略》说：

> 宋世何承天更以四十九分之二十六为强率，十七分之九为弱率，于强弱之际以求日法。承天日法七百五十二，得十五强，一弱。自后治历者，莫不因承天法，累强弱之数。

根据以上记载，人们才得以了解中国古代各个历法中日法数据的来历。设 $b=49$，$a=26$，$c=9$，$d=17$，m、n 都为任意正整数，分别为强率和弱率的倍数，则根据以下不等式：

$$\frac{a}{b}(\text{强率})>\frac{ma+nc}{mb+nd}>\frac{c}{d}(\text{弱率})$$

适当选择 m 和 n 的数值，便能导出较为满意的日法。何承天元嘉历所选取的 $m=15$，$n=1$，代入上式，便得 399/752。我们从这里才知道调日法由何承天创立，元嘉历日法的数据是这样调制出来的。[①]

明天历的日法为 39000，依据以上方法，可得 $m=781$，$n=43$，代入以上公式，得 $\frac{20693}{39000}$。由以上两例，便可知中国古代历法中的日法是怎样推导出来的。

周琮又说："自后治历者，莫不因承天法，累强弱之数，皆不悟日月有自然会合之数。"实测天体运动的数值，是治历的第一要务。有些拙劣的历法家不甚懂得这一道理，也在那里机械地选择强弱之数以求日法，那样制定的历法是不可能精密的。



唐初麟德历以来，各家历法天文数据都以统一的分母来表示，这是一种简化的措施。但是，明天历却有所反复，它设 39000 为元法，作为步气朔和五星的分母，另外各立度母，作为推算日躔月离以及交会的分母。

周琮将调日法的历史及原理记载下来，使得后人能够解开古历的原貌，就这一点来说，也是有贡献的。

---

① 详细讨论请见《调日法研究》，《自然科学史研究》，1984 年第 3 期。



五、明天历的制订及其评价

仁宗嘉祐末年，周琮和冬官正王炳等受命制订新历。周琮指出：旧历节气后天半日，五星行度差半次，日食差至十刻。”并按他的意见在新历中做了改正。新历尚未制成，仁宗驾崩，英宗接位。新历于英宗治平元年(1064)制成，上报给宋朝政府。与此同时，舒易简等人也呈上自己制定的历法。经孙思恭等人考订是非，认为周琮的历法精密，定名为明天历，于1645年颁行。

明天历在立法原理上可以说没有做出多大有意义的革新。周琮自认为明天历主要有两项成就：

(1)将唐宋以来历法中各天文数据采用同一分母改为用日法和度母表示。“本历创立此数，皆古历所未有”。

(2)“明天历悟日月会合为朔，所立日法积年有自然之数，及立法推求晷影，知节气加时所在。”

周琮设立日法、度母，自认为“理极幽渺，所谓反复相求，潜遁相通，数有冥符，法有偶会，古历家皆所未达。”实际并不全都具有科学原理，而是属于数学上的附会。将天文数据使用共同分母改以日法、度母表示，只能使计算更加复杂化，不能认为是一项有益的革新。

日法即反映出一部历法所立天体运动周期的精密程度；积年即代表了它的历元，是代表它对天体方位的实测精度的。只有利用这两个基本数据，才能推得天体的方位，缺一不可。周琮自认为明天历的天文数据、历元和节气加时都与天相应，是经过实测的，因而密于前历，这种说法具有一定的道理。

明天历颁行了3年即被废止不用。有人以此推论说“实未能胜于前历也。”[1]这种说法是片面的。明天历预报治平四年日食不准，这是客观事实，但在此前各家历法预报日食也都并不很准，例如，大衍历刚制成后，预报日食就不应验；一行以皇帝德行所致来自我解嘲。崇天历在颁行的前一年预报日食就不验。可见预报不准是常有的事。宋朝历法累改，大致与政治有关，每一新皇帝上台，总要伴随着改历。明天历在神宗元年被废止，是明显地与新皇帝上台有关的。



如前所述，明天历所用回归年的精度比前历有了很大提高，为以后各家历法所遵用；此外，所定节气加时也很准确。所用五星会合周期平均说来也比崇天历精密得多。因此，它在北宋时代，还算是一部较为精密的历法。不过，明天历也是有缺点的。卫朴曾经指出：“崇天历气后天，明天历朔先天。失在置元不当。”[2]合朔时

① 《历法通志·宋历志略》。

② 见《畴人传·卫朴》。

刻不准，对预报交食也有影响。当然，明天历预报交食不准还有其他原因，例如，明天历所用近点月为27.554627日，是较粗疏的。

（撰稿人：陈久金）

第六节 张载

张载（1020—1077），字子厚，北宋凤翔郿县（今陕西眉县）横渠镇人，生于宋真宗天禧四年，卒于宋神宗熙宁十年。他曾任丹州云岩县令、崇文院校书、同知太常礼院等职，但一生中相当长的时期在家乡横渠镇讲学，故当时学者常称他为横渠先生。张载是我国古代著名哲学家之一，他的著作有《正蒙》《易说》《经学理窟》等。他和周敦颐、二程（程颢、程颐）、朱熹同为宋代理学的创始人，但他所创立的关学与后来成为理学正宗的周敦颐、二程、朱熹的濂、洛、闽等学派有本质的不同，特别在自然观方面，更是如此。关学坚持和发展了朴素的唯物主义，而其他几派则基本上是唯心主义的。关学还特别注意研究天文、地理、医学等自然科学问题，张载本人在天文学方面提出过不少出色的见解，主要可归纳为以下几点。



图5—5　张载像（引自明版《三才图会》）

一、提出“地在气中”的思想

张载发展了我国古代朴素唯物主义的元气本体论，他明确提出了“太虚即气”[①]的命题。所谓“太虚”，在《庄子》、古佚书《道原》以及著名的《黄帝内经》中均已提及，其含义都是指浩瀚的太空。张载继承了这一概念，但提出了新命题。他所说的“太虚即气”，实际上是指看上去空荡荡的浩瀚太空，实际上都是由“气”构成的。他还进一步认为万物和太虚是“气”的凝聚和扩散造成的，所以他说“气不能不聚而为万物，万物不能不散而为太虚”[②]。正是从这种见解出发，张载对我国古代的浑天说给以重要的发展。早期的浑天说主张“天地各乘气而立，载水而浮”[③]，即

① 《张载集·正蒙·太和篇》，中华书局，1978年版。
② 《张载集·正蒙·太和篇》，中华书局，1978年版。
③ 张衡《浑天仪图注》，见《经典集林》卷二七。



认为地球浮在水面上，它的下半与天球间充满了水，上半与天球间充满了“气”。这样一种宇宙结构模型很难解释天体随“天”周日旋转时怎样从水中穿过的问题。张载明确地否定了这种说法，提出了“地在气中”[①]的观点，他认为地球并没有什么东西支撑着，它与“天”之间充满了“气”。再者，由于张载主张“太虚即气”，即茫茫的太空本身就是“气”存在的一种状态，所以张载这里所说的“气”，很可能是指无形的“太虚”。因此，张载的“地在气中”这一命题，很可能是指地球自然地悬于浩瀚的太空之中。

二、否定有形质的天球壳层存在

在张载以前，浑天说都主张存在着一个有形质的天球壳层，恒星镶嵌在其上闪闪发光。而只有宣夜说认为浩瀚的太空无边无际，并不存在有形质的“天”，张载吸收了宣夜说的观点，把并不存在有形质的“天”的正确见解引入到浑天说中，这是他对浑天说的又一重要发展。张载说“地纯阴凝聚于中，天浮阳运旋于外”[②]，清代的王夫之在注释《正蒙》时指出，这种认为“天包地外，地在天中”[③]的见解表明张载是主张浑天说的。但是，张载并不认为存在着有形质的“天”，他认为“天”就是“太虚”，就是茫无边际的太空，所以他说“由太虚，有天之名”[④]。张载还说“天惟运动一气”[⑤]，即认为“天”的本质就是运动着的一团气。这表明，张载确实十分清晰地否定了有形质的天球壳层存在。

三、地球运动的观念

地球运动的观念在我国古代渊源很早。早在战国时的《尸子》一书中，尸佼就提出“天左舒而起牵牛，地右辟而起毕、昴”[⑥]。成书于西汉末年的《尚书纬·考灵曜》中则提出“地有四游，冬至地上北而西三万里，夏至地下南而东三万里，春、秋二分其中矣”。用地球的飘动和摆动（“四游”）来解释不同季节正午时太阳高度的变化。然而，更全面和更深入地探讨地球运动的则是张载。张载主张地球有两种运动，一是它不停地在自转，二是它像气球一样，在太虚中浮动，并由此造成四季的交替。张载说：“地纯阴凝聚于中，天浮阳运旋于外，此天地之常体也。恒星不动，纯系于天，与浮阳运旋而不穷者也。日月五星逆天而行，并包乎地者也。地在气中，



① 《张载集·正蒙·参两篇》，中华书局，1978 年版。

② 《张载集·正蒙·参两篇》。

③ 王夫之：《张子正蒙注·参两篇》，中华书局，1978 年版。

④ 《张载集·正蒙·太和篇》，中华书局，1978 年版。

⑤ 《张载集·横渠易说·系辞上》，中华书局，1978 年版。

⑥ 见《太平御览》卷三七《尸子》。

虽顺天左旋，其所系辰象随之，稍迟则反移徙而右尔，间有缓速不齐者，七政之性殊也。"[1]又说："恒星所以为昼夜者，直以地气乘机左旋于中，故使恒星、河汉因此为南，日月因天隐见。太虚无体，则无以验其迁动于外也。天左旋，处其中者顺之，少迟则反右矣。"[2]这两段话表明，张载认为最远的恒星和浮阳（"天"）一起以较快的速度自东向西运转（"左旋"），七政（日、月和当时所知的五个行星）、地球也和"天"一起自东向西运转（"顺天左旋"），但速度又依次稍慢，因而从地球上看去，七政在恒星背景上又有自西向东的运动（"稍迟则反移徙而右尔"）。张载在这里提出了一种图像，认为恒星、七政和地球全都在自东向西转动（"左旋"），但转动速度不同，恒星最快，七政次之，地球最慢，从而导致了恒星和七政东升西落的视运动。又由于七政的左旋比恒星慢，而且七政本身转速又各不相同，因而看上去七政以不同的速度在恒星间自西向东穿行。张载用清晰的较差转动的图像解释了当时观测到的恒星、日、月和行星运动的主要现象，这不能不说是一个创见。更难能可贵的是，在他的图像中，处于中心的地球也在自转不息，这不能不认为是对地球运动的一种出色猜测。至于张载所主张的地球自转方向和事实上相反，这种错误在当时是难免的，我们不能以此苛求古人。

张载除对地球自转做了猜测外，他又提出了"地有升降，日有修短。地虽凝聚不散之物，然二气升降其间，相从而不已也。阳日上，地日降而下者，虚也；阳日降，地日进而上者，盈也。此一岁寒暑之候也。"[3]他认为地球被无形的气体所包围。阳气上升时，盖在地上的阳气浓厚，压在地下的阳气空虚，所以地就下降，离太阳就远，成为冬季。反之，阳气下降时，地上的阳气稀薄，地下的阳气饱满，地就上升，离太阳就近，成为暑季。张载这种见解和他所提出的"地在气中"的见解是吻合的。他实际上是把地球看成飘浮在"太虚"中的一个球，由于阳气的作用，使地球在太虚中上下飘动，时而离太阳近，时而离太阳远，从而形成了不同的季节。这种看法虽与实际情况不符，但他着眼于从地球运动本身来解释寒暑易节的变化，不能不说是一种值得称赞的努力。



四、提出了"以经星属天，以七政属地"的新见解

张载说："恒星不动，纯系乎天，与浮阳运旋而不穷者也。日月五星逆天而行，并包乎地者也。地在气中，虽顺天左旋，其所系辰象随之，稍迟则反移徙而右

① 《张载集·正蒙·参两篇》。
② 《张载集·正蒙·参两篇》。
③ 《张载集·正蒙·参两篇》。



尔。"[①]王夫之为这段话作注时说，张载在这里提出了"以经星属天，以七政属地"[②]的见解，这是很有道理的。张载认为，恒星（即王夫之所说的"经星"）最远，"纯系乎天"，与浮阳（"天"）在一起快速地自东向西转动，而日月五星"包乎地者也"，它们不是像恒星那样"系乎天"，而是属于地球的"所系辰象"，与地球在一起"顺天左旋"，只是由于转速较慢，看上去才"稍迟则反移徙而右尔"。张载认为恒星远在"天"（"浮阳"）上，而"七政"只是地球的"所系辰象"，这种见解中包含了一个十分重要的真理，即认识到日、月和行星比恒星要近得多。

那么"七政"是否离地球一样远近呢？看来，张载认为"七政"离地球的距离也是各不相同的。理由有三：

(1)张载很清楚"七政"在恒星间自西向东穿行速度是不同的，他明确提出月球"右行最速"，太阳右行较缓，金星、水星"附日前后进退而行"，火星"其迟倍日"，木星"岁历一辰"(即12年一周天)，而镇星(土星)"其行最缓"。张载主张上述运动正是由于恒星、"七政"和地球越来越慢的自东向西转动("左旋")造成的。于是，"七政"的不同运动特性只能表明它们并不位于离地球同一距离处。

(2)对"七政"中的日、月两天体，张载已明确提出"月于人为近，日远在外"[③]，即认为月球比太阳离地球近得多。这一见解与张载提出的越近地球的天体"左旋"越慢的图像完全吻合，正因为月球比太阳离地球近，所以其较差转动的结果正巧导致人们看去月球在天空中"右行最速"，而太阳则右行较缓。

(3)张载明确提出，在"七政"中，只有土星是唯一的一颗"不纯系乎地"[④]的天体，即认为土星是七政中唯一的一颗介于"系乎地"和"系乎天"之间的天体，这表明，张载实际上认为土星是七政中最外面的一个天体。这一看法与张载提出的越近地球的天体"左旋"越慢的图像也相吻合。由于土星介于"系乎天"与"系乎地"之间，所以土星"左旋"的速度只稍稍慢于恒星，而比七政中其他天体都要快，所以人们看去土星在众恒星间向东穿行时"其行最缓"。



从以上三点可看出，实际上张载认为"七政"中各个天体离地球的远近也不相同。天体距离的问题在我国古代探讨较少，但张载提出"系乎天"和"系乎地"的两类天体以及对七政运动特性的一些探讨表明，张载已对恒星、日、月和五个行星的距离远近问题有了一个朦胧的认识。

---

① 《张载集·正蒙·参两篇》。

② 王夫之:《张子正蒙注》。

③ 《张载集·正蒙·参两篇》。

④ 《张载集·正蒙·参两篇》。

五、对月球的盈亏做出了比较正确的解释

前已指出，张载认为太阳、月球在以不同的速度绕着地球自东向西转动（“左旋”）。在这个前提下，张载还进一步对月球的盈亏做了解释。他说：“亏盈法：月于人为近，日远在外，故月受日光常在于外，人视其终初如钩之曲，及其中天也如半璧然。此亏盈之验也。”①张载认为，月球本身并不发光，由于月球要比太阳离地球近，所以月球受日光照射那一面往往不会正对地球（“月受日光常在于外”），因而造成了不同的月相。当然，张载的这个解释是建立在太阳也在绕地球转动的基础上，这在当时是很难避免的一个错误。但除这一点外，应该说，张载对月相成因的解释基本上是正确的。

六、时空观念上的出色见解

张载在提出“太虚即气”这一命题的基础上，进一步发挥说，“太虚不能无气”，“知太虚即气，则无无”②，此处“无无”的意思就是不存在绝对的空无，这说明张载已涉及空间（“太虚”）与物质（“气”）的相关性问题，已认识到不可能存在绝对没有物质的太空（空间）。更难能可贵的是，张载还进一步提出：“若谓万象为太虚中所见之物，则物与虚不相资，形自形，性自性，形性、天人不相待而有，陷于浮屠以山河大地为见病之说。”就是说，如果把一切事物（“万象”）都看成存放在空间中的东西，这样就把物与空间看成彼此独立，不互相依存，事物的形状和它的内在本性，天和人，双方毫无关系，这样虽然承认有物质存在，却不承认意识是存在的反映，就会陷入佛教把山河大地当做一种幻象的错误。张载这种物与空间互相依存的观点是在与佛教唯心论的论争中萌发出来的。佛教唯心主义主张“世界虚空”③，“皆是本心生万种法”④，这里的所谓“虚空”已不是用来表示空间的“太虚”、“太空”的概念，而是指绝对不存在，佛教唯心地认为客观物质世界是“虚”是“空”，根本不是真实存在，只是主观意识的幻象。张载发现了佛教唯心论故意混淆作为空间的“虚空”概念与空无一物、根本不存在的“虚”、“空”的概念，于是明确地提出物与虚“相资”，即客观世界与空间互相依存的观点，从而堵塞了佛教唯心主义论证客观世界是主观幻象（“以山河大地为见病”）的一条道路。这种出色的见解显然比那种把空间看成是一成不变且独立于外界事物的装载物质



① 《张载集·正蒙·参两篇》。

② 《张载集·正蒙·太和篇》。

③ 《六祖大师法宝坛经·般若品》，金陵刻经处本。

④ 《六祖大师法宝坛经·付嘱品》，会陵刻经处本。

容器的绝对时空观念要正确些。尽管张载这种见解不是建立在科学实验的基础上，而是一种天才的猜测，但若把它看成是我国古人在时空观念上的先进思想的火花，是毫不过分的。

综上所述，可看出张载在天文学上确有不少出色的见解。无怪乎谭嗣同对张子（即张载）在天文学上的贡献竭力加以推崇，他认为"不知西人之说，张子皆已先之，今观其论，一一与西法合"，甚至更进一步感叹地说："不知张子，又乌知天？"①谭嗣同的议论尽管有些过分，但在一定程度上也表明，张载在这方面的造诣的确是相当深的。

（撰稿人：宣焕灿）

第七节　沈　括

沈括（1031—1095），字存中，北宋杭州钱塘人。青少年时代，随父沈周宦游各地。24岁，终父丧，袭荫，历任地方小吏，广接民众，勤于吏事，兴水利、治圩田、集医方、著乐论，打下了广博的知识基础。33岁，举进士。越三年，入京为昭文馆编修，奉命参与详定浑天仪事，开始研习天文学。又三年，退守母丧。一年后入京，参与王安石变法的政治活动，为其骨干人物之一。从1072年到1076年之间，管过司天监事，从事天文仪器的研究，写成《浑仪议》《浮漏议》《景表议》三篇科学论文；主持编修《奉元历》。这一阶段是他天文学研究成果最丰富的阶段。此后十多年，他作为朝廷大臣，忙于军政大事。后来变法失败被黜，晚年退居润州（今镇江），作《梦溪笔谈》，书中录述了许多科学技术内容，为我国古代科学名著。


图5—6　沈括像

关于沈括生平及其学术的史料，现代人的研究著述颇为丰富，此处不赘述，读者可参看有关文献②。《宋史·沈括传》说他："博学善文，于天文、方志、律历、音乐、医药、卜算无所不通。"作为天文学家的沈括，是在吏事繁忙的空隙中自学成才的，因而一些基本功训练方面不及专业的天文家，例如在历法推算上，他只

① 《谭嗣同全集》，上册《思篇三》，中华书局，1981年，第123～124页。

② 胡道静：《新校正梦溪笔谈》，中华书局，1957年；张家驹：《沈括》，上海人民出版社，1978年；中国科技大学，合肥钢铁公司：《梦溪笔谈译注（自然科学部分）》，安徽科学技术出版社，1978年。

能推荐淮南盲人卫朴来干。可是他的知识广博，又擅长从原理上动脑筋，这是专业人士所不及的。他常常能突破传统观念的框子，踏出一条新路来。

一、仪器和观测技术

沈括在天文学上的最大贡献，是以三"议"为代表的观测方法和仪器技术的改进。熙宁五年(1072)沈括受命提举司天监，次年作"浑仪"、"浮漏"、"景表"三"议"[①]。这是向皇帝递交的奏章。又次年六月，新制仪器落成。神宗皇帝和辅臣们亲至迎阳门参观，向沈括询问改制原理。七月，受嘉奖迁官为右正言、司天秋官正。

在《浑仪议》一开头，沈括便申述他提倡观测的基本思想："度在天者也，为之玑衡，则度在器。度在器，则日月五星可抟乎器中，而天无所予也。天无所予，则在天者不为难知也。自汉以前，为历者必有玑衡以自验迹。其后虽有玑衡，而不为历作，为历者亦不复以器自考，气朔星纬，皆莫能知其必当之数。至唐僧一行改《大衍历法》，始复用浑仪参实，故其术所得，比诸家为多。"

"在天者不为难知"的论断是中国科学思想史上的精华，它肯定人类对自然的巨大认识能力，而这能力的来源是观测和实验。这种思想在当时是一种潮流，例如苏轼在其《徐州莲华漏铭》中所说：人不只靠感官，还靠量具认识自然，无论"天地之寒暑，日月之晦明……"都"不能逃于三尺之箭，五斗之瓶。"这同沈括的思想完全一致。

在《浑仪议》中，沈括有一段关于观测精度基本概念的重要论述，以往常被人忽视。"盖浑仪考天地之体，有实数，有准数。所谓实者，此数即彼数也，此移赤彼亦移赤[②]之谓也。所谓准者，以此准彼，此之一分，则准彼之几千里之谓也。今台之高下乃所谓实数，一台之高下不过数丈，彼之所差者亦不过此，天地之大岂数丈足累其高下？若衡之低昂，则所谓准数者也。衡移一分，则彼不知其几千里，则衡之低昂当审，而台之高下非所当恤也。"



沈括此处虽仅就浑仪讨论，但"实数"和"准数"的概念却更有普遍性意义。实者真也，"实数"就是真值，是"绝对值"。准是"准望"的准，"准数"是瞄准而得之数，它由浑仪上的弧长表示。如欲求 A、B 二星与第三星 C 之距离(在浑天说的意义上)，从浑仪所得读数只代表 $\overline{AC}$ 和 $\overline{BC}$ 的比值，而不代表其真实距离，所以是"相对值"。

由于中国古代没有明确的角度概念，浑天的天是一个球面，人们不能确知其半

---

① 《宋史·天文志》卷四八。

② 此"赤"字疑有讹误，猜测原文为"十分"二字，在竖行格式中，二字密近，以致误读。



径真值，只以浑仪度距表示天体的相对距离，但他们想的天体距离还是个长度，而非角度。沈括所谓“一分”，正指长度的一分（即窥管口移动长度为$\frac{1}{10}$寸）。故他的“实数”和“准数”是指在长度计量中的“绝对值”和“相对值”。他讨论了长度计量的误差，说明了一条原则：一个像天高这样大的量不在乎几丈的误差；但在相对值计量中，一分一毫所代表的真值很大，就要精密。

据此，我们可以说：沈括提出了计量学的“绝对值”和“相对值”及其误差的命题。尽管他的概念不及我们现代完备精确，但是讲得很清楚，没有错误。早在10世纪，能以如此明晰的形式说明计量学理论中的这些基本概念，在科学史上的意义是重大的。沈括这项卓越的理论，是他深入各类测量实践和深思熟虑的结果。

然而，从浑仪测天之数而言，既与“实数”无关，也不是按相对值理解的“准数”，因为天体实际不是在一个球面上。浑仪所测乃是视角。这样说来，沈括这条议论似乎没有什么天文意义。正因为如此，现代人竟忽视了沈括这条理论的普遍性价值。可是，即使从当时的测天实践而言，如表影长度、瞄准机构等，也不是与此无关的。

在观测实践和仪器设计中，沈括为提高瞄准精度，减少这个“准数”误差，做了不少工作。近代望远镜开始用瞄准丝是17世纪形成天文观测技术一大跃进（英国人 William Gascoigne，1638；与法国人 Adrien Auzout，1666）。在中国，郭守敬已创用双丝定位瞄准。先于郭守敬，沈括更早从窥管的上、下端管口设计改进了瞄准。他用的是大小圆透视重合法：“凡求星之法，必令所求之星正当穿之中心。今两端既等，则人目游动，无因知其正中。今以勾股法求之，下径三分，上径一度有半，则两窍相复，大小略等。人目不摇，则所察自正。”

我们没有他的浑仪尺寸的数据，猜测沈括可能取6分为度，上径1度半是9分，相应筒长约7尺。故当透视两个端孔大小略等时，人目在下端之下约3尺（若“三分”是0.3度，则为1尺7寸）。

沈括还把地平圈（“纮”）的上表面放在浑仪中心的高度上，以环的上缘作瞄准地平之用。

他的这些改进虽不很大，但却是开创性的，能起到启发后人的作用。例如郭守敬创用的瞄准双丝，恐与沈括的改革有着渊源关系。

在《景表议》中记述的“副表”应该也是瞄准设备：“副表并趺崇四寸，趺博二寸，厚五分，方首，剡其南，以铜为之。凡景表景薄不可辨，即以小表副之，则景墨而易度。”

这里“景薄”就是明暗对比度太低的意思，所以看不清表影轮廓。

议文中未说明具体操作步骤，那么，小表靠什么办法定位呢？“景薄不可辨”



时，太阳还是可见的，只是被薄云遮暗了。此时，可以用肉眼瞄准太阳，使大小表端与太阳中心三点成直线，以定位小表。此法实肇端于《周髀算经》："立八尺表，以绳系表颠，希望北极中大星，引绳至地面识之。"

恒星太暗，不能成影。太阳虽暗了，还可不必拉绳子，有个小表就行了。这小表不但前承周髀，可能还是后启郭守敬的。郭守敬的4丈高表如为8尺表的简单5倍放大，则表端半影在开封，冬至日长达12.6寸，夏至也有3.6寸。即使晴天也找不准这样的影长。如果采用沈括的副表，晴天又不能用肉眼瞄准太阳。郭守敬找到小孔成像的办法解决了这一难题，还提高了精度，是对沈括成果的发展。他把表端改成横梁，又使影长以太阳中心，使定义明确化。

沈括对浑仪的另一项改革，也是步子不大、意义不小的。这就是他去除了月道环，开了简化浑仪结构的先河。从西汉洛下闳起，有案可查的浑仪发展史，是个由简而繁，又繁极而简的过程。到沈括时代，浑仪结构繁到顶点也大到顶点。制造一台浑仪耗资费时非常可观，精度也难于保证，以致南宋初想仿制北宋浑仪而不能。而且那重重叠叠的多环组合造成观测时的互相妨碍，使用起来很不顺手。简化和分解势在必行，沈括实发其端。到郭守敬，索性把浑仪拆解成几个功能分开的独立单元，老式浑仪的历史就基本结束了。

上述几项仪器改革都说明沈括起了承前启后的作用，与郭守敬的改革有着渊源关系。

这里我们还必须就浑仪中轴方位的调整问题，评一评沈括的是非。在《浑仪议》中，浑仪中轴称"天枢"，是个中空的筒，顺此筒的轴线瞄准天极，可以调整浑仪的中轴方位。这步操作当然关系全部观测精度，沈括给以极大关注是对的。《浑仪议》有："前世皆以极星为天中，自祖暅以玑衡窥考天极不动处，乃在极星之末犹一度有余。今铜仪天枢内径一度有半，乃谬以衡端之度为率。若玑衡端平，则极星常游天枢之外；玑衡小偏，则极星乍出乍入。令瓒旧法，天枢乃径二度有半，盖欲使极星游于枢中也。臣考验极星更三月，而后知天中不动处远极星乃三度有余，则祖暅窥考犹为未审。今当为天枢径七度，使人目切南枢望之，星正循北极枢里周，常见不隐，天体方正。"



这里沈括所说"使极星游于枢中……正循北极枢里周，常见不隐，天体方正"是正确的。但他说祖暅不对，天极与极星相距三度余，这却错了。中国古代不了解天极是动的，但这问题可以通过历代累积的观测数据解决，犹如岁差之发现那样。祖暅的数据——1度余，梁令瓒的"天枢乃径二度有半"，都是正确的数据。到沈括，本可从新测数据总结出天极运动的规律。但是，沈括轻率否定前人的工作成果（这是沈括的一个坏作风），而自己又把数据搞错了。他的天枢径7度是对的，如此则



可推得极星去极1度半有余，而不是3度余（同样，梁令瓒时的极星去极度是2度半的1/4）。那么沈括是错成真值的2倍了。他不明白，从枢筒下端看上端口径的视角是个圆周角，而筒口直径所对的圆弧角度——7度却是个圆心角。

沈括的错误不是观测错误，而是几何概念错误。他的错误影响严重，因为后人由这样的数据很难正确判断天极运动的规律。

他测定这个数据的方法[①]也是不值得赞赏的。这操作本来很简单，只要测量相隔12小时的极星移动度距，除以2即是极星去极度，两个位置的中点即是天极。用当时成熟的窥管测角法完全可以做好。沈括却是不断改变窥管口径，频频绘图，夜夜记录，连干3个月，而后得之，显然走了弯路。注意，他这并非调整浑仪的操作，他的窥管可任意扩大，不可能是浑仪的天枢。10年前人们曾把这项低于当时真实水平的工作不加分析地夸大宣扬，实际上等于贬低当时整个天文学的发展水平。

说到今人的各种评述中许多失当之处，上举极星去极度问题是个典型。此外种种，不拟在此详列，读者可参考有关文献[②]。除过分夸大沈括的功绩之外，还有误解处。对《景表议》中"浊氛"一事的理解便有过误解[③]。原文是：

> 测景之地，百里之间，地之高下东西不能无偏；其间又有邑屋山林之蔽，倘在人目之外，则与浊氛相杂，莫能知其所蔽；而浊氛又系其日之明晦风雨、人间烟气尘坌，变作不常。

这说的是大气能见度，却曾被解释为蒙气差。沈括也谈过与蒙气差有关的话，却不是这一段。《浑仪议》有：

> 以衡窥之，日分之时，以浑仪抵极星以候日之出没，则常在卯酉之半少北。



这是太阳光经大气折射，提早从地平线上出现，因而日出点也偏北的效应。这才是真正的蒙气差。在中国，最早的蒙气差效应的发现者是何承天，嗣后张胄玄又重复这一观测，得到相同结果。此事载于《隋书·天文志》，其数据是相当精密的。当然，何、张、沈皆不能知蒙气差的原理。

尽管沈括有某些缺点、错误（加上今人的误解），我们总还可以说：在方位天文学领域，沈括的建树颇多。他的研究具有观察细致的特点，例如他发现行星视运行轨迹有柳叶形的回旋一事，便是代表事例。

在仪器使用上值得大书特书的一事，是浮漏计时的高精度。沈括继承并发展

---

① 《梦溪笔谈》卷七，"象数一"。

② 李志超：《沈括的天文研究（二）日食和星变》，《中国科技大学学报》，10卷1期，1980年。

③ 张家驹：《沈括》，上海人民出版社，1978年。

了燕肃"莲花漏"的成就。他的论文《浮漏议》是这方面现存的最好的史料。我们于此事曾作过详细研究报告①。

现在的模拟实验证明，沈括的刻漏装置可以达到每昼夜误差小于20秒的计时精度。在惠更斯发明摆钟之前，这是世界上计时技术的最高水平。

影响刻漏计时精度的主要物理因素是水的黏滞性变化。造成这一变化的主要因素是温度的变化。沈括克服这一难点的关键是寻求出水孔的最佳高度。在这个高度上可以有两个优点：一是流速不太快，避免产生湍流。同时因流量不小，所以孔径够大，自然减小了孔壁的黏滞阻力。二是利用漫流水面高度受温度微调的作用，补偿黏滞性变化引起的流量变化。在《浮漏议》中规定的出水孔高度是"下水之概寸"。"概"就是水面，即在水面之下约1寸的高度上。沈括刻漏的流量约为每秒1毫升，出水孔直径大于1毫米。在模拟实验中观察发现水流的平稳性极为理想。前此的刻漏都把出水孔放得较低，于是在同样流量之下，由于水压大而流速大，孔径就要小，很容易产生湍流、垢塞等弊病，孔壁黏滞阻力也大得多。

关于漫流水面高度的补偿作用是前引文献的新发现，前此研究刻漏者都未提及。温度的变化改变水的表面张力，因而使漫流时水面的高度也有微小变化，这一变化反映在出水孔处为水压的微小变化。由此引起的流量变化恰与黏滞性的影响相反，因而可以互相补偿。但漫流水面的变化很小，最佳补偿只是在某一恰当的出水孔高度上才能实现，而沈括的设计是符合这最佳条件的。沈括虽然实践上做到了最优设计，但还没有阐明其原理。

由于对沈括的计时技术水平有了这一新了解，我们便对《梦溪笔谈》中有关"日行迟速"的一段话得到了较为合理的解释，这段话是：



> 下漏家常患冬月水涩，夏月水利，以为水性如此，又疑冰澌所壅，万方理之，终不应法。余以理求之，冬至日行速，天运所期而日已过表，故百刻而有余；夏至日行迟，天运未期而日已至表，故不及百刻。既得此数，然后复求晷影漏刻，莫不泯合，此古人之所未知也。

"天运"指恒星天的视运行，"日行"是太阳相对于恒星的位移，即在黄道上的运行。"天运所期"的一周日是黄道上的恒星运行一周天加上黄道度1度(1/365.25圆周的古度)所用时间。如果"日行"为匀速，则真太阳日即与"天运所期"一致，但实际"日行"依开卜勒定律而变化，一个真太阳日就同"天运所期"的一周日发生歧离了。这个时间差就是现代天文学中的"中心差"，而不包含"黄赤交角差"。在远日点太阳最慢，真太阳日较短；在近日点相反。差值约8秒。在沈括时代远日点离

---

① 李志超，毛允清：《刻漏精度的实验研究》，《中国科技大学学报(增刊)》，1982年；李志超：《〈浮漏议〉考释》，《中国科技大学学报(增刊)》，1982年。



冬至只差三天，近似地可以说是冬至。这个差值以北宋的计时技术是可以量得出的。

只是文中“日已过表”在逻辑上不通，只能改成“日未至表”。估计是传抄者不解原意擅自臆改的结果。

二、历法和推步之学

历法与算学是分不开的，沈括在算学上有许多重要成就。本文不谈纯算学的事，也不细谈算法。与历术有关，沈括的“会圆术”和“妥法”很值得注意。这两者还可能是密切关联的。

会圆术给出了计算圆的径、矢、弧、弦诸量关系的公式，这在几何和三角不发达的中国是很要紧的。郭守敬在《授时历》中计算黄道积度用的“弧矢割圆术”，即与此有关[①]。在《梦溪笔谈》中夸耀的“妥法”可能也与此有关。可惜详记其法的《熙宁晷漏》一书已经失传，我们现在仅仅知道它的一些基本特征。《梦溪笔谈》里面是这样说的：

> 日之盈缩，其消长以渐，无一日顿殊之理，历法皆以一日之气短长之中者，播为刻分，累损益。气初日衰，每日消长常同；至交一气，则顿易刻衰。故黄道有觚而不圆，纵有强为数以步之者，亦非乘理用算，而多形数相诡。大凡物有定形，形有真数。方圆端斜，定形也；乘除相荡，无所附益，泯然冥会者，真数也。其术可以心得，不可以言喻。黄道环天正圆，圆之为体，循之则其妥至均，不均不能中规衡；绝之则有舒有数，无舒数则不能成妥。以圆法相荡而得衰，则衰无不均；以妥法相荡而得差，则差有疏数。相因以求从，相消以求负；以负相入，会一术以御日行。以言其变，则秒刻之间消长未尝同；以言其齐，则止用一衰，循环无端，终始如贯，不能议其隙。此圆法之微，古之言算者，有所未知也。以日衰生日积，反生日衰，终始相求，迭为宾主。顺循之以索日变，衡别之以求去极之度，合散无迹，泯如运规。非深知造算之理者，不能与其微也。

不管沈括自己对他的算法如何自鸣得意，我们还是不能判断其正误成败。也许它就是后来元代的“弧矢割圆术”，也许是个完全错误的方法。它的失传这一事实本身是不利于让后人取得信任的。沈括说：“非深知造算之理者不能与其微也。”这说明了他有“曲高和寡”的孤立感。“其术可以心得，不可以言喻”。这就是不讲“理”了。这些话可能反映了他未能给出令人明白折服的逻辑证明。当然，这在古



① 许莼舫：《多才多艺的数学家沈括》，《科学大众》，1953年11月。

代中国数学也是常事。

无论如何，上述引文毕竟说明了沈括在天算之学中一种卓越的指导思想："物有定形，形有真数"，"日之盈缩，其消长以渐，无一日顿殊之理"。在古代，这些思想对许多学者来说，并不是确凿无疑的。例如刘焯描绘的日行舒急变化，就是一种突变式的过程。而"形"与"数"的关系，由于缺少几何学理论，更是模糊不清。

从文中语气来看，沈括的"真数"是指理论性的定量关系。早在张衡《浑天仪图注》中就叙述了以竹篾模型实测球面度差关系的研究方法。一直反映在历法中的各种方位天文学数据和算表，从本质上说与张衡的方法一样，都是以实测为据，而不是运用几何理论推导的方法。看来沈括与传统不同，他说的"真数"是"乘除相荡，无所附益，泯然冥会者"，是从运算规律的形数一致关系导出的，而不是从具体的个别的测量求得的。由这种思想出发，必定导致逻辑的几何学理论的发展，以及在天文学上应用。圆的几何学还必然导致其所推之量的关系的连续性："秒刻之间消长未尝同……循环无端，终始如贯，不能议其隙。"从实测方法并不能自然地得出这样的结论，如史实已见者，便常常是"黄道有觚而不圆"。

现在我们弄不清楚的一个关键概念是"妥"，甚至不知道它是个形的概念，还是个数的概念。

《梦溪笔谈》中提出的太阳历方案是显示沈括思想不凡的另一典型。他主张废除朔望月，"用十二气为一年，更不用十二月，直以立春之日为孟春之一日……"至于月之盈亏，则如现代公历，"寓之历间可也"。

中国历法肇自上古，一向是阴阳合历，用朔望月，为了气与月序相对应而外加闰月。这闰月法实在麻烦之至。沈括敢于打破这个老规矩毕竟识见过人。他说：



> 历法见于经者，惟《尧典》言"以闰月定四时成岁"。置闰之法，自尧时始有，太古以前，又未知如何。置闰之法，先圣王所遗，自不当议。然事固有古人所未至而俟后世者。如岁差之类，方出于近世，此固无古今之嫌也……闰生于不得已，犹构舍用磹楔也。自此气朔交争，岁年错乱，四时失位，算数繁猥……此殆古人未之思也。

看他"先圣王所遗，自不当议"一语，今人读来也许失笑，也足见古代舆论束缚之紧。而他不管这一切，以致置"怪怨攻骂"于不顾，毅然倡言今之胜古，怎不令人佩服其精神！后来，太平天国颁行的《天历》，也是这样的太阳历，但其历史意义则远逊于沈括了。因为：第一，太平天国以政权为后盾；第二，毕竟是与"上帝"一起，从西洋移植来的。而《天历》的简捷，毋宁说反映了天文学研究尚未开展的事实，而非科学的昌明。

当然，沈括的方案也有受西学影响的可能。沈括住过的泉州和开封都有西方



侨民，他们奉行的历法会一点也不为沈括所知吗？不过，北宋同明清之后西学强大的情况是不好比附的，沈括即便吸收了西历的知识，他的太阳历方案也还是有重要历史意义的有创见的学说。

但是，我们也还要从另一方面看到沈括太阳历那不合时宜的一面。中国传统的阴阳合历在古代有其进步性，到沈括之时，这种进步性仍保持着，取消了阴阳合历制并不见得有好处。中国历法注重调和岁、气、朔、闰，由此进一步兼报日月之食和五星见伏。正是这种体制才推动了中国两千多年观测天文学的持续发展。人们正是在世人相承的累积观测中不断地改进天文数据，不断地修改历法，才以古代简陋的仪器设备取得了日新月异的天文学成就，直至元代郭守敬，一直保持世界先进的地位。《授时历》承两千年之学术传统，达到了望远镜之前的最高天文学精度。到此，阴阳合历的历史使命可以说是基本完成了。所以，历代各历行用多不过几十年，惟授时历实际行用 300 多年。在这 300 多年中，因此竟失去了一个推动天文学研究的重大因素，造成了明代天算之学的停滞状态。显然在北宋就改行太阳历制还为时过早。我们可以说，沈括的思想是“超越时代”的思想。

不论妥法或太阳历，这都属于“历理”一类的学问。一牵涉到所谓“算数繁猥”的大量推算工作，即“历术”一类的学问，沈括就暴露了他那非专业的半外行的弱点。他自己不行，推荐了淮南盲人卫朴，据说此人计算技术极高。一个盲人总得有人帮忙才行，沈括未能团结好司天监中专业人才，反倒搞了许多人事纠纷。结果是讼狱迭作，大大影响了科学工作。沈括自己的著述显然是偏袒一方，不能据以判断争执双方谁是谁非。沈括说司天监旧人都是“隶名食禄，本无知历者”。未免言之太过。事实是，被沈括说得一无是处的《明天历》及其作者周琮，从水平而言不低于《奉元历》和卫朴。两历相较，所据有的资料和观测条件都差不多，而《奉元历》的精度并不更高，甚至颁行之次年预报月食即告失败。



《梦溪笔谈》中谈历术细节的部分有许多莫名其妙的谬误：

> 《春秋》日蚀三十六，诸历通验，密者不过得二十六七，惟一行得二十九，朴乃得三十五，惟庄公十八年一蚀，今古算皆不入蚀法，疑前史误耳。

《春秋》日食是历家最重视的一个命题，讨论得最多。到沈括时，至少公认了两次频月而食，显为误记，而庄公十八年那次反倒不是误记。明清学者黄宗羲[①]批评说沈括他们“欺人”。一向疑古的沈括，在这个问题上何以糊涂至此？

“卫朴造《奉元历》，始知旧食法止用日平度。”

他攻击周琮等人，诬说他们不懂得日行有迟有速，只知用平均速度计算太阳方

① 黄宗羲：《南雷文定》“答万充宗质疑书”。

位，因而报不成日月食。事实上，有案可查的记载中，卫朴关于食法的议论[1]并未讲旧法“止用日平度”。而《明天历》《崇天历》至今犹存，确也不是那样。看来，《宋史·律历志》所说：“识者谓括强辩，不许其深于历也。”这话有其道理，不是任意诬贬沈括。

三、宇宙观和思想方法

从沈括的著作中表现出来的观点和方法是个奇怪的矛盾混合体。在一部分议论中是鲜明的进化思想，无所顾忌地批评前人的谬误，主张今可胜古；在另一些议论中却又大叫今不如古。在宇宙观方面，有时清楚明白地阐述天地万物的运动变化、古今之不同；又有时荒诞地无理否定前人发现了的运动变化的事实。

沈括极力宣讲岁差的知识，如说：“事固有古人所未至而俟后世者。如岁差之类，方出于近世”。“《颛帝历》冬至日宿中初，今宿斗六度。古者正月斗杓建寅，今则正月建丑矣。”在批评《唐书》说的“落下闳造历，自言八百年当差一算”时，他说：“落下闳历法极疏，盖当时以为密耳……仅世尚未知黄道岁差……兼余分疏阔……乃曰‘八百年差一算’，太欺诞也。”

可是在二十八宿方位数问题上，他毫无道理地否定一行的成果。他认为把28个恒星当作标志星（距度星），就因为它们位置在整数度上，全忘了上古观测精度低下一事，也忘了他在别处主张的变化之说。《梦溪笔谈》有：

> 二十八宿，为其有二十八星当度，故主以为宿。前世测候多或改变。如《唐书》测得毕有十七度半，觜只有半度之类，皆谬说也。星既不当度，自不当用的宿次，自是浑仪度距疏密不等耳。



明以前中国人不知岁差现象是天赤道和天极变动的结果，都认为是黄道移动了。一行测出了赤道坐标系中恒星经纬度的变化，发现所测与古不同，但不能解释。如果沈括的测量很精密，那么他应该得到更进一步变化的数据。就在沈括死后十年出现的《纪元历》也说测得了星度的变化，并正式定为常法。那么，叫我们如何去评价沈括呢？恐怕只能说是思想方法错误。前已述及的天极位置问题与此相同并相关。

这里顺带说说中国古代对岁差的认识。自从晋代虞喜从比较历代数据而发现岁差，就认为是黄道在恒星间移动，只有隋代刘焯在《皇极历》中说是冬至点在黄道上移动。这个认识上的误会必将随观测数据的累积和精度提高而解除。一行已很

---

① 李焘：《续资治通鉴长篇》。



接近于解决，他并没有像沈括那样轻言前人不对，只把数据做了比较，态度很客观。沈括的前任周琮也有所进展，“以新仪测候，与一行尤异”。《纪元历》作者姚舜辅就更前进了一步，肯定了星度的变化。《宋史·天文志》的作者则针对这些测量结果明显地提出怀疑：“夫赤道终古不移，则星舍宜无盈缩矣。”

沈括处在这认识过程之中，而未起积极作用，未免可惜。

人们历来一致推赞沈括对月之盈亏所作的“弹丸之喻”：

> 月本无光，犹银丸，日耀之乃光耳。光之初生，日在其旁，故光侧而所见才如钩；日渐远，则斜照，而光稍满。如一弹丸，以粉涂其半，侧视之，则粉处如钩；对视之，则正圆。此有以知其如丸也。日月气也，有形而无质，故相值而无碍。

日月间的光学关系原理不是沈括的创见，早在西汉就有了。人们赞赏的是他的说明通俗易懂。但是“日月气也……”的断语却大谬不然。

沈括是信“浑天”的。历来学者对天体模式看法各有所异，“浑天”、“盖天”、“宣夜”三说的界限有时并非泾渭分明。例如一行当奉浑天，但他说“月在日下”，其说以日食的地理差异为据。如此则月为虚悬，说近宣夜。可是沈括所持却是个球壳模式，日和月都附在这壳面上，不然就不发生日月相碰的问题了。日、月附于球壳这观点倒很像是某些西洋人的看法，他们的水晶球模型也是有壳面的。

中国人对大地为球形的认识是晚至西洋传教士来后才明确建立的。可是历代对北极出地高度的分析研究一直引导人们趋于“至少有个半球形大地”的结论。《浑仪议》谈东南西北的定义时就牵涉到这个命题。“旧说以谓今中国于地为东南。”传统浑天说认为阳城为地中，这里沈括一开始就把“阳城地中说”弃而不顾，直以“中国东南说”立为辩论靶子，立论异常。实际上沈括主张极下为地中，他知道这又是个易招非难的新鲜议论，可能是为了少惹口舌争斗，他是故意树立个虚靶，同时还找了个《黄帝素书》来帮忙，而此书一般是不为天文学家留意的(作者至今不知此为何书)。其论曰：



> 所谓东南西北者，何从而得之？岂不以日之所出者为东，日之所入者为西乎？臣观古之候天者，自安南都护府至浚仪大岳台才六千里，而北极之差凡十五度，稍北不已，庸讵知极星之不直人上也；臣尝读《黄帝素书》：“立于午而面子，立于子而面午，至于自卯而望酉，自酉而望卯，皆曰北面。立于卯而负酉，立于酉而负卯，至于自午而望南，自子而望北，则皆曰南面。”臣始不谕其理，逮今思之，乃常以天中为北也。常以天中为北，则盖以极星常居天中也。

照此说法，极星正当人顶处当无南北之可言。相对于这极下一点来说，处处都

是互为平等的对称关系。故他接着质问："日出为东，日入为西，此殆放乎四海而同者，何从而知中国之为东南也？"

如果沈括在浑天说的基础上把"极下为地中说"贯彻到底，他应能自然而然地得出"大地为球形"的结论。假如按传统浑天说，天是球形的天，而大地是个过球心的平面，那么走到任何地方极星都不会居中。可以找到一点，极星正当人顶之上，但这点却没有对称中心的性质，得不出东西方向的"四海而同"的等价性。可是沈括接下去说："极星之果中，果非中，皆无定论者"。自己把一盘即胜的棋扰乱了。

这个矛盾的命题早在唐一行已是摆清楚了[①]。那时测量使者大相元太报告说，在南海中可以看见南极以上 20 度的星，而铁勒的北极高为 52 度。那么中国人已经看见的南北向恒星天就至少是半圆加上三十几度了。加上已知北极圈的夏天竟夕常明的事实，地之为球已甚昭然。而一行也同沈括一样终于"抹了稀泥"。他说的话是：

> 原古人所以步圭影之意，将以节宣和气，辅相物宜，不在于辰次之周径；其所以重历数之意，将欲恭授人时，钦若乾象，不在浑、盖之是非。若乃述无稽之法于视听之所不及，则君子当阙疑而不议也。……王仲任、葛稚川之徒区区于异同之辨，何益人伦之化哉。

一行不敢跨越的一步，沈括也没有超越他。从一行和沈括在大地形态问题上的表现，我们看到的是中国古代学者的典型风格：一是特别尊重直接的经验；二是学术服务于人类社会生活的实际。一言以蔽之：讲究实际。

现代人看古希腊人的地球说，认为他们是说对了。但也仅仅是"对了"，并不意味着他们的思维特别高超。在哥伦布企图以环球航行证明大地为球形以前，地球说不过是各种假说之一而已。在那以前，哪一家说法为对，于人类生活实际并无直接影响。哥伦布发现新大陆，在当时是符合西方社会发展急需的大事，可是若把此事放在当时的中国，就算不了什么，不过如历代史志讲四夷诸蕃者，以"扶桑"、"黑齿"之类为海外奇谈而已，因为社会对此没有兴趣。正是一行那句话："若乃述无稽之法于视听之所不及，则君子当阙疑而不议也。"他们讲求的是有益于"人伦之化"。在沈括则说的是：

> 极星之果中，果非中，皆无定论者。彼北极之出地，六千里之间所差者已如是，又安知其茫昧几千万里之外邪？今直当据建邦之地，人目之所及者，裁以为法；不足为法者，宜置而勿议可也。

① 《新唐书·天文志》卷三一。



以“人目所及者，裁以为法”同一行的“视听之所不及，则君子当阙疑而不议”是一个意思。

然而这并不意味着中国人不尊重理论思维，沈括的很多学术成就都是理论思维的成功典型。只不过这种思维强调的是：依据仪象法器、刻漏圭表，讲究“实数、准数”、方正坚久，追求极精致密、无微不合。这当然是好的科学作风。事实上，作为科学方法，这也是欧洲近代科学产生的一个主要基础。我国古代不缺少这方面基础。

本文与几年前论述沈括的文献不同，较多地谈论了沈括的缺点和错误。科学是不讲情面的，回避或文饰其错误，于研究无益而有害。讲了沈括的错误，并不降低他的贡献的价值，伟大的照样伟大。由此我们才能看到一个活生生的真实的沈括，而不是一个偶像式的超人，对他伟大之处的认识也才能更深刻正确。

（撰稿人：李志超）

第八节　苏　颂

一、生平概略和治学用人的特点

苏颂（1020—1101），字子容，北宋泉州南安（今福建南安）人。宋真宗天禧四年（1020）其父苏绅徙居并归葬于润州之丹徒（今江苏镇江市丹徒县），遂为丹徒人。庆历二年（1042），苏颂23岁时中进士，在宿州、江宁、南京一带任职。皇祐五年（1053）入京为馆阁校勘集贤校理编定书籍等职[①]。继而，苏颂出知颍州，又内调外迁多次，神宗元丰年间召修起居注判尚书吏部。哲宗元祐初升任刑部尚书，又改吏部，转为翰林学士，至元祐五年（1090）拜尚书左丞。元祐七年（1092）73岁的苏颂擢右仆射兼中书门下侍郎，八年辞相任观文殿大学士，又以中太一宫使名居于京口（今江苏镇江）。绍圣四年（1097）拜太子少师致仕，归居润州。徽宗即位，加太子太保，晋爵赵郡公，建中靖国元年（1101）82岁时去世。


图5－7　苏颂像
（引自《新仪象法要》）

① 《三朝名臣言行录》卷一一“丞相苏公”。

纵观苏颂一生，历任地方官与京官，至垂暮拜相，从政达 55 年。他从州县微职入擢，经神宗变法，元祐党争，绍圣绍述的大风大浪，在宦海沉浮中仕途相当顺利，几乎没有专门从事学术研究的经历。但是，他在学术上却有一定的成就。尤其是晚年，对天文学所作的巨大贡献，使他在我国以至世界科学技术史上留下了美名。他之所以能得到成功，从他的立身行事中可以归纳出以下两项特点。

第一是他具有不倦的好学精神。史称苏颂"自书契以来，坟史所载九流百家之说，至于图纬、阴阳、五行、律吕、星官、算法、山经、本草、训诂、文字无所不通"[①]，可知他博览群书，长年孜孜不倦地进行学习。当然他自幼"性警敏……就师学力省功倍"[②]，也颇有关系。最主要的，还是他的勤学力行，特别是在馆阁的九年勤读。他的同时代人邹淮称他"性酷嗜学，晚岁弥甚"。[③] 曾肇则记他"博学，于书无所不谈，经纬、阴阳、五行、星历……靡不该贯，尤明典故……学士大夫，有僻书疑事，多从公质问……"[④]稍后的汪藻于南宋初年评论说："丞相魏国苏公……以博学洽闻名天下者五十余年……百家、九流、律历、方技之书，无不探其源，综其妙者……"[⑤]从这些宋代人的评议中可得知苏颂还掌握了较合理的学习方法。例如他当侍读时"多所启迪"[⑥]，即着意启发式的教学法。他自己对待学问，则"无不探其源，综其妙者"[⑦]。即从事分析归纳，以求明悉根由溯究来历，掌扼要领索求宏旨；同勤学相结合，自然可以收到持久的效果。曾有王禹玉与元厚之二人问他：何以会博学而且经久弗忘？他回答说应该掌握要点，重大事物发生的时间和梗概。然而元厚之以为还有苏颂的勤记。他说"……至于暗记经史，哩咏诗什……无遗忘者，又以何法！乃真强记尔。"[⑧]朱熹的评价是"博洽古今，通知典故"，而又能守其学。他说："如公学至矣，又能守之……学者所宜师也。"[⑨]



第二是他知人善任，不考虑私情。苏颂历任内外要职，能公正地合理地任用人才。他主持制作的水运浑天仪象，依靠的都是些小人物。主要人员是"令吏"韩公廉。令吏一职，隋唐以后，仅仅为三省六部办事员中的低级职称，并无地位。制作过程中所任用的，除太史局春官正、冬官正等专业官员外，也都是些立簿、学中教授、官局生、节级等职位低下的吏员。制仪时的官局生袁惟几，后来担任了太史局

① 《三朝名臣言行录》卷 一一 "丞相苏公"转录邹淮《行状》。
② 曾肇：《赠司空苏公墓志铭》。
③ 《三朝名臣言行录》卷 一一 "丞相苏公"转录邹淮《行状》。
④ 曾肇：《赠司空苏公墓志铭》。
⑤ 汪藻：《苏魏公集序》。
⑥ 曾肇：《赠司空苏公墓志铭》。
⑦ 汪藻：《苏魏公集序》。
⑧ 《谈训》。
⑨ 朱熹：《苏丞相祠记》。



冬官正。可说是出了成果，也出了人才。曾肇替他撰《墓志铭》，对他的人事关系论述道："避远权宠，不立党援。进退人才，弗专立己。理有未当，亦不苟从。……天资闳厚，有犯不校。"邹湛为他作《行状》，描述道："及登显近，务推挽正人吉士，不问识与不识……其进退士大夫，无纤毫私意。以故人不归恩而怨读言亦不切至焉。"可以想见，苏颂是能够做到任人惟贤的。他虽然长期从政，可是以他的博学多才和用人得当，终于在晚年制造出了划时代的影响深远的水运仪象台。

二、苏颂的天文历法素养

苏颂虽然学识渊广，但对天文历法仍有较深厚的造诣和较多的专注。天文历法实是他的主要特长。大约在及冠之年，他中试所做的文章，就是一篇题目为《历者天地之大纪赋》[①]。这篇赋虽无突出的创见，然而旁征博引，将有关制历的重要典故都引用上了。具备多种学术素养的苏颂对于天文历法实更为精审。出使契丹的一段答问，可以证实他对历学的关心。熙宁十年（1077），苏颂奉命出使北朝的契丹国（即辽国）[②]贺君主的生辰。辽国历法与宋朝素来相差一日。这时，正好遇到冬至节，宋朝的奉元历比辽国的大明历，冬至节早一天。副使要过节庆贺，但辽国的陪同官员不肯接受[③]。辽国不像中原，他们并不禁止民间学习天文历法，所以颇多精通历学人士。苏颂判定辽历的推算是正确的，但又不宜公开承认。于是他先对历法之学详据典籍，援证先例，广泛地做了一番论议。辽人初闻妙论惊感莫测高深。苏颂再慢慢地说："历家算术小异，迟速不同。如谓亥时节气当交，则犹是今夕，若逾数刻，即属子时为明日矣。或先或后，各从本朝之历可也。"[④]辽国人无法同苏颂争辩，只能点头称是，就分别以自己的历日来做庆贺。回国之后，奏闻于神宗，神宗大为高兴，说道：这种事最难处理得当，你所对答的真是极为中肯，以后出使的人如果不懂得，遇到朔日不同，对朝见日相互间有争议，那就有失国体了。接着神宗又问，两种历法到底谁家准确？苏颂如实奏报说还是对方算得准确。于是，司天台的官员都受到罚俸的处理。



苏颂的家学对他当然亦有深刻的影响。他家里藏有浑天仪的模型，在家时曾

---

① 叶梦得《石林燕语》卷九："苏子容过省，赋《历者天地之大纪》，为本场魁。既登第遂留意历学。"

② 契丹国于947年改称辽国，983年辽圣宗即位，又改国号为契丹。至1066年辽道宗重称辽国。故宋代典籍，契丹与辽两词并用。

③ 见《石林燕语》卷三。同书卷九又云："元丰中使虏，适会冬至，虏历先一日。趋使者入贺……两相抵牾。"宋汪应辰《石林燕语辨》按曾肇《墓志铭》断以卷三所记为是。

④ 见《三朝名臣言行录》卷一一"丞相苏公"转录邹淮《行状》。又《石林燕语》卷九记云："……徐曰：此亦未足深较，但即刻差一刻耳。以半夜子论之，多一刻即为今日，少一刻即为明日，此益失之多尔。"其意略同。

细作研习，并有心得。[①]《宋史·苏颂传》称其“邃于律历”，所以苏颂在天文历法上有独到之处，并非偶然，而是有其根基的。

三、三种天体测量仪器的全面总结

宋哲宗元祐初年，朝廷命苏颂更做浑仪，史称元祐仪。元祐仪藏于合台，它同刻漏所的韩显符至道仪，天文院的舒易简皇祐仪，太史局的沈括熙宁仪，史称宋代四大浑仪。[②] 这件事的契机是元祐元年十一月，苏颂奉诏检核前朝新旧浑仪。检查结果，认为至道与皇祐两仪还可用，而熙宁仪则“环器怯薄，水趺低垫，难以使用”。[③] 于是诏命苏颂主持，制造新浑仪。对于制造浑仪，苏颂有他自己的见解。他归纳北宋建国70年来制作五六座大型天文仪器过程中的争端，认为前人工作中存在着两项缺点：一是对仪器的名称同它们的结构、作用，没有摸清楚。二是在观测时，须用手转动仪器，这会使观测结果因人而异；尽管互相评议指责对方，最后仍得不出定论。通过对古代文献的详细分析，他把长期来概念模糊的测天仪器，明确地分为三类：

(1)浑天仪。“规天矩地，机隐于内，上布经躔，以日星行度察寒暑进退”[④]，例如东汉张衡的“浑天”，唐一行与梁令瓒的“浑天仪”。所指当是后来所称的浑象，常带有水力传动的机械装置。

(2)铜候仪。“以察三光，以分宿度”[⑤]，由六合、三辰、四游等诸仪组成，用窥管观测天体运动，古称“玑衡”，即当时通称的浑仪。例如至道仪、皇祐仪等。

(3)浑天象。“以著天体，以布星辰，二者以考于天。历代罕传其制，惟隋书志称梁代秘府有之，云是宋元嘉中所造者。”[⑥]这种浑天象，“有玑而无衡……地在天内，不动……至如斯制，以为浑仪，仪则内阙衡管。以为浑象，而地不在外。是参两法，别为一体。……外内天地之状，不失其位也。……葛衡……改作浑天，使地居于天中，以机动之，天动而地上……”[⑦]这显然是一种天象仪式的仪器。通过考证，能注意到实际上存在着三类都可通称为浑天仪的天文仪器，指出“名亦不正”之弊，苏颂的识见确实可称高人一等。他的成就的具体表现，就是分别制造了这样三座机械传动的仪器。加上水运仪象台中的报时机构，他同他的合作者创造了好几项中世纪时世界上独一无二的科学技术装置。苏颂对天体测量主要仪器，进行了这



① 朱弁《曲有旧闻》卷八对浑天仪事记云：“……孔定、王蕃最为精密……而蕃不著其器。独子容因其家所藏小样，而悟于心……”

② 王应麟：《小学绀珠》卷一。又《玉海》第四卷“仪象”。

③ 苏颂：《进仪象状》。

④⑤⑥ 苏颂：《进仪象状》。

⑦ 《隋书·天文志上》。



种科学史性质的总结，这自然同他的科学思想是分不开的。邹淮《行状》论他的为学之道时说："……不独见于论议文章，必欲验之实事以扶助世教。"正是在这种思想指导下，苏颂才从"提举"制作浑仪进而通过科学实验，再现了全套三种仪器，在好几个方面取得了"前所未有"的辉煌成就。

四、苏颂的浑仪

苏颂制作的浑仪，即铜候仪，其结构相同于李淳风的浑天仪，由六合仪、三辰仪与四游仪组成。从性能来看，六合仪是起承重作用的刚架，通过龙柱，传递荷载于水趺。三辰仪以黄、赤道环与二分点的结构，对应于天球的黄赤道与二分点，是测量天体的活动坐标架。四游仪与望筒相结合做双向运动，使望筒横箫能窥测天球上任何位置。苏颂《新仪象法要》（以下简称《法要》）的描述，使我们得知它具有以下特点：

（1）六合仪的地浑，又名阴纬环，即地平圈，它创自前赵孔挺。苏颂浑仪的地浑面上"凿渠为平水沟"，"通流以为准"，使安装时得以保证它完全处于水平状态。这措施，在我国天文仪器制造史上，还是首次著录。

（2）北极出地 35 度少弱，即约 34°40′。它不同于李淳风的 34 度 8 分，即 34°18′，亦不同于周琮的 35 度少强，即 34°50′。至于沈括，他用的是 34 度 8 分强，约为 34°19′。开封的地理纬度，今测为 34°48′。苏颂所用元丰实测值，略差于周琮皇祐值。但从古代的实测既未考虑大气折射改正等因素，仪器的定位安装误差又在所难免，因而－8′与＋2′的出入，实际上实相差无几。

（3）六合仪内采用了周琮创用的天常环，固定了赤道的位置，使三辰仪转动时，赤道环保持在天常环之内，保证了基本坐标环的稳定性和读数的准确度。环上据元丰甲子岁实测，冬至日在斗 3 度，夏至井 9 度少弱，春分奎初度强，秋分轸 7 度太弱。元丰甲子岁为 1084 年，离作书时仅 5 年，用的是最新数值。



（4）黄道环改革了周琮、沈括等前人所用的单环。这是由于依单环观测太阳时，仅于环北看到半个太阳。改用双环则可用望筒于双环缝内得见太阳圆面。一年之中，随天运转时，太阳适在黄道环内运行一周。这是苏颂的创见。

（5）仪上"黄道出赤道外二十四度弱，去极一百一十五度少弱为冬至"，即仪器的黄赤交角不是取传统的古度 24 度而是减少为"二十四度弱"，即 23°34′22″。按近代公式计算，元丰甲子岁黄赤交角 23°33′29″，相差仅 53″，可谓精密。倘以古代通用值 24 度，即 23°39′18″相比，当是一大进步。苏颂是果断地采用了当时的新测值。

（6）在三辰仪内增添了四象单环，即创用了二分圈。进一步地保证了三辰仪的三维稳定性。

苏颂所述，还有一项特点，就是它对仪器的构造与各部分的历史演变及名称作了综合性的追叙，例如关于鳌云柱，它说这是后魏明元帝永兴四年(412)诏造候部铁仪时，方始于水趺上置龟以负荷天经双环。宋初的韩显符制铜候仪，又将它取消了。至元丰年间周日严铸仪，方又立鳌云柱。今制作新仪，承周日严做法，设置鳌云，但云气中空，隐有天柱，柱顶联结三辰仪天运环，成为机动装置的一部分，亦是一项创新。

五、苏颂的浑象与星图

苏颂的浑象是在天经与地浑的刚架内装置一座“浑象毬”，象征天球。地浑外面是一方木柜，象征大地，使天球半在地外，半在地内。南北极亦出入地面 35 度少弱，“贯以枢轴”，使能自东向西运转，做周日运动。毬面上偏布 283 官，包括三家星 1464 颗。它的特点为：

(1)《法要》称：“……浑象一座，太史旧无”，意即在宋代，这浑象还是第一座天球仪式的仪器。那么，太平兴国四年张思训所做的浑象又是什么呢？从《宋史・天文志一》所著录的那一段来看，实在看不出它的具体形态。但其中“皆取仰视”一语，似乎反映出它可能是一座天象仪，因而，苏颂称太史局“旧无”浑象，他是宋代首次制作，恐怕是据此而言的。

(2)《法要》指出，刘宋元嘉十三年钱乐之所铸浑仪，实为浑天象，它的形制系“地在天内”。这仪器，“以为浑仪，仪则内阙窥管，以为浑象，而地不在天外”。然后，他又提到王蕃曾议论浑象的一番话：“……地当在天内，其势不便，故反观其形，地为外郭。而已解者，无异在内。诡状殊体，而合于理，可谓奇巧也”。他最后据以指出自己所制浑象的直接来源道：“今地浑亦在浑象外，益出于蕃法也。”



虽然，苏颂在《法要》内对浑仪、浑象做了一定的科学史性质的考证，然而，更重要得多的贡献却是它提供了一整套宋代的科学星图。图共 5 幅，依次为：浑象紫微垣星之图，星名 37，星数 183；浑象东北方中外官星图，星名 129，星数 666；浑象西南方中外官星图，星名 117，星数 615；浑象北极图；浑象南极图。

分析这 5 幅图及其记叙，我们可得出以下几点结论：

(1)它共著录 283 官 1464 星，并依石氏、甘氏、巫咸氏三家星分列，遵从陈卓所订定之数。石氏、巫咸氏用小圈，甘氏用黑点；而在当初的原图上，则石氏用黄色，甘氏用赤色，巫咸氏用青色来区别。用较古的方式来表达，未采用宋代已相当普遍的《步天歌》形式，这恐怕同他“务循故事”的作风是分不开的。但在现存版本中，以《守山阁丛书》本而论，尚微有阙略，计有：缺内厨二星，帛度与屠肆星名颠倒，泣星与天关漏星名，缺右更五星等 5 处。四库全书各本，缺误稍多。



(2)图上以纽星为北极星，通过实践，“验天极亦昼夜运转”，“不移处乃在天极之内一度有半”。按，《宋史·天文志》云：“自唐以来，历家以仪象考测，则中国南北极之正，实去极星之北一度有半……”看来，苏颂不光是沿用旧值而不用皇祐值1度少强①，而是他据元丰实测所得而记下的。按近代公式计算，1084年的纽星，极距为1°37′36″，折古度1.65度，同1度半极相近，比因袭采用1度少强要准确。

(3)这5幅星图中，前三幅与后两幅是内容相同而表达方式不同的两种类型世界最早的科学星图。这是苏颂评论了圆、纵两种古星图，即盖天图与天文横图的得失而专意绘制的。因为盖天图(或盖图)上的星，北极附近，合于天形，近南极方向，星座形象被拉得扁阔疏散②。而天文横图上，赤道上下星座较正确，越靠近南北极就越失真。隋唐时期，像敦煌星图，就截取盖图恒显圈与横图相结合使用，向前跨进了一步。苏颂的前三幅星图，绘有赤道、上下规和宿度线，构成了坐标网。图上的星，内容完整，以位置而论，则是依实测数值据坐标网而绘制，误差不大③。举几个简单的例子来说：在放大的第一图上，量得纽星离天球北极同1度半颇相接近。又，北宋时期京师开封地区，策星始终位于恒星圈内，符合第一图；而王良西星、造父东星与摇光则在圈外，符合第二图的形象④。因此，它是一份11世纪时期的科学化星图，亦是现存世界上最早的科学星图。尤为可贵的是第二、三两图的画法(图5－8)，采用了正确的圆柱投影画法。这是以正圆柱投影法来表达球面的世界上最早出现的一幅图。近代制图学上使用的麦卡托(G. mencaton，1512—1594)投影法，便是这种画法。但初用以绘制世界地图，那是1569年的事，已在苏颂之后480年。至于麦卡托用以绘制天图，还要晚好几年。

(4)第四、五两图即浑象北极图与南极图，是苏颂首创的。他指出：“天体正圆，如两盖之相合……今仿天形为覆仰两圆图。……两图相合，全体浑象，则星宫阔狭之势，与天吻合，以之占候，则不失毫厘矣。”图上亦有上下规、赤道与宿度线，原图同样是依入宿、去极度而绘制的科学星图。图的画法，近代称之为极方位等距投影(图5－9)，兴起于15世纪后期的欧洲，同样迟于苏颂好几个世纪。



因此，英国的李约瑟在《中国科学技术史》的《天学》卷内对这五图加以评论说：“欧洲在文艺复兴以前，可以和中国星图制图传统相提并论的东西，可以说很少，甚至就没有。”萨顿在《科学史导论》内也说：“直至14世纪末年，除了中国星图以外，再也举不出别的星图了。”这些评价是公允的。对我国星图的代表作来说，苏颂的

① 见《灵台秘苑》卷一〇。史籍未见有关元丰年间北极星观测的记载。

② 败血四星，可说是个典型的例子，不妨参阅苏州天文图。

③ 参阅《新仪象法要的星图》，载《中国古代天文文物论文集》。

④ 第一图内亦有摇光，大抵是为了保持北斗七星的完整性的缘故。

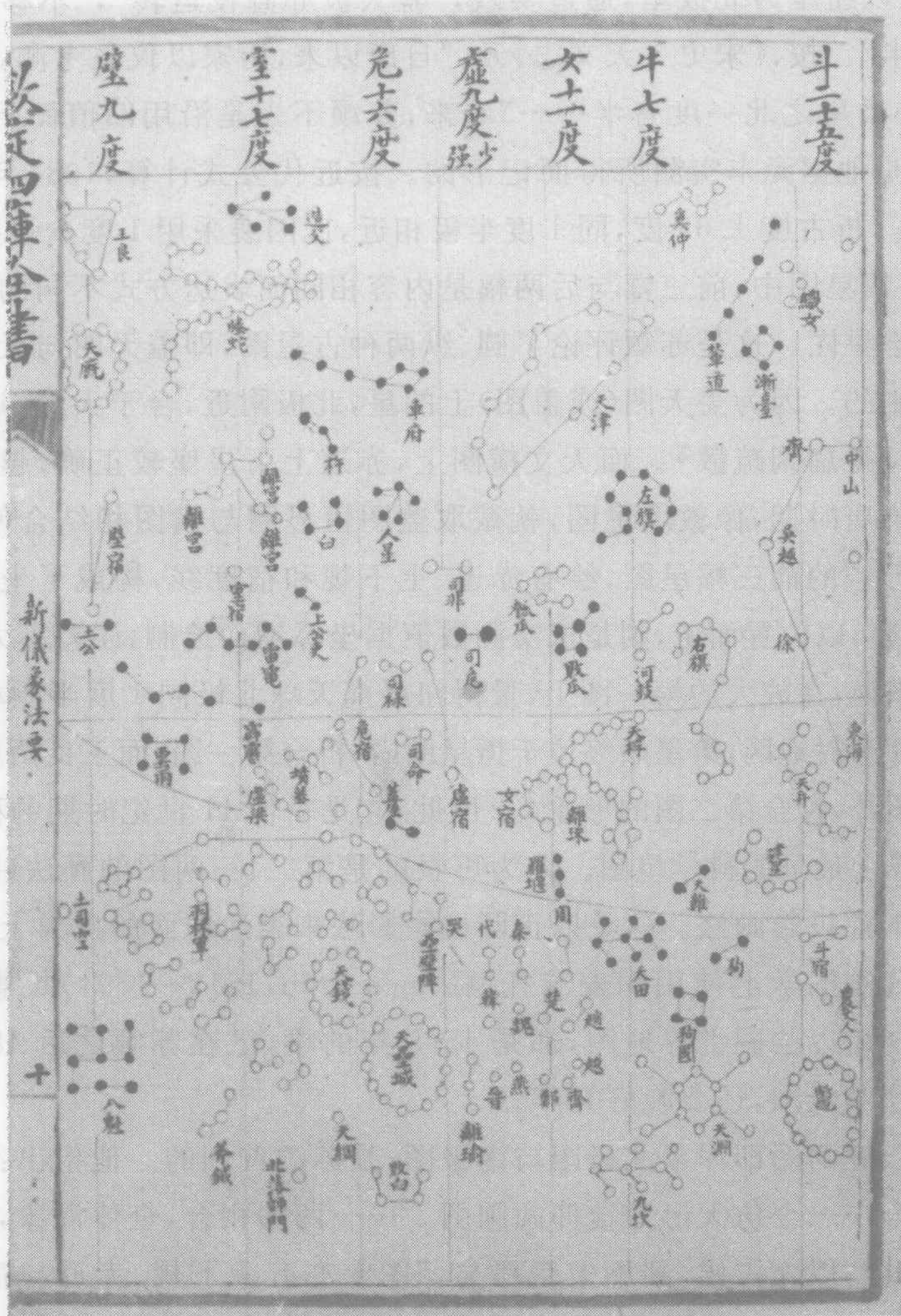


图 5—8　苏颂创制的圆柱投影法星图（取自文澜阁本《四库全书》）

图可说是首屈一指了。

苏颂做浑仪和浑象，是为实用目的而制作的。因而他还绘制了一份昏晓中星图，计有：四时昏晓加临中星图；春分昏中星图，春分晓中星图；夏至昏中星图，夏至晓中星图；秋分昏中星图，秋分晓中星图；冬至昏中星图，冬至晓中星图。

这些图中，苏颂以一天 100 刻配以十二辰。四时昏晓加临中星图上，标出了二分二至日的日出没时刻及昏晓（即晨昏朦影）时刻。图上的朦影时间是两刻半而不是更早时期的 3 刻。他取以观测昏晓中星的时间亦即日出前或日没后的两刻半。不同季节采用不同的时刻。见图一目了然。图上还取《礼记·月令》及由唐玄宗制



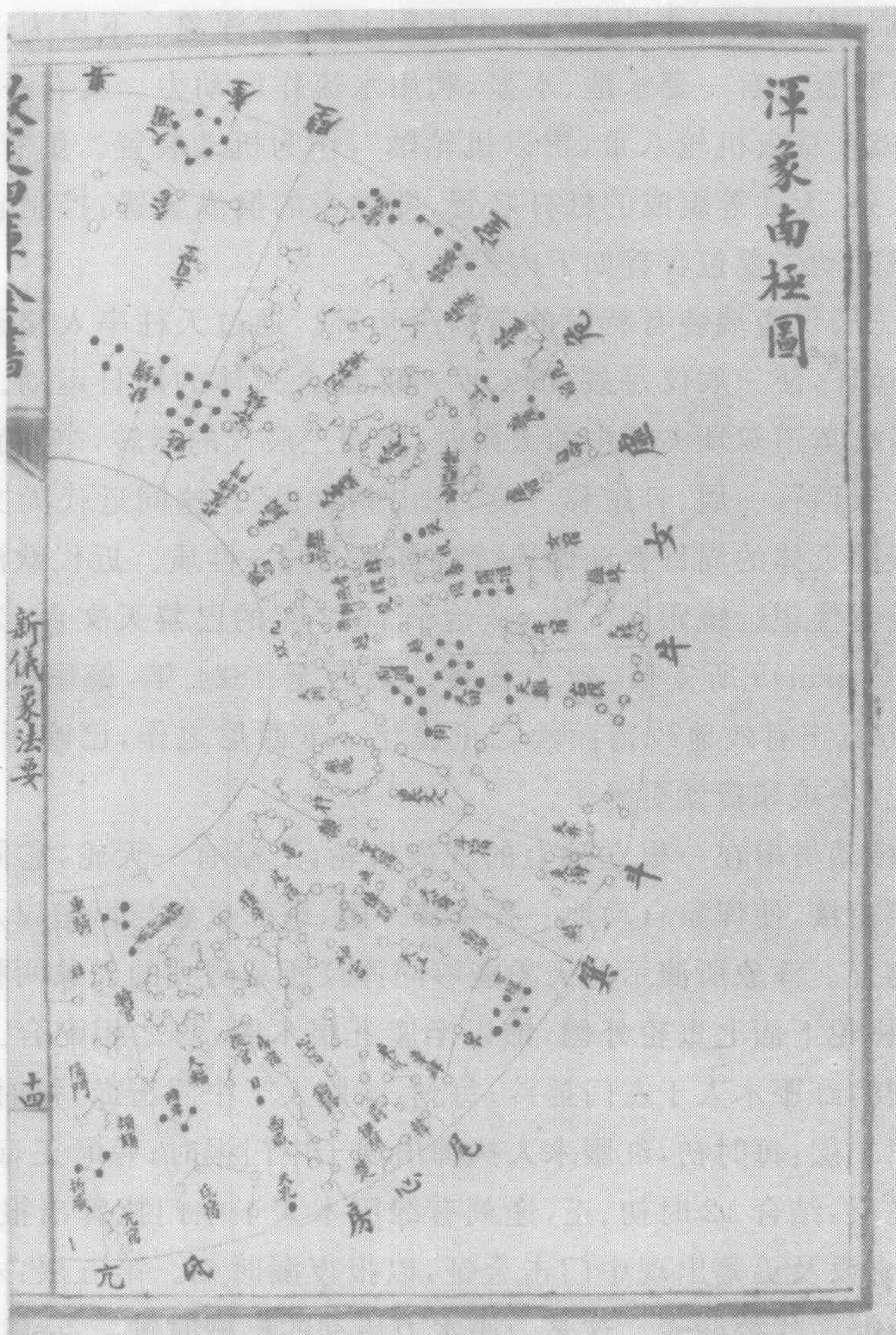


图 5—9 苏颂创制的极方位等距投影去星图(取自文澜阁本《四库全书》)



定的《唐月令》昏晓中星,同元丰所测中星做比较。制图目的是依古制供皇帝“顺阴阳而颁政令”。这 8 幅昏晓中星图虽然个别地方经笔者验算不十分准确,但在表达方式上却别具一格,通俗而易为人所接受。

六、水运仪象台的重大意义

浑仪和浑象是设置在水运仪象台上的。这台经过王振铎等人的努力,已经有原大五分之一的复原件陈列在北京中国国家博物馆。这台的形状为方台体,从尺寸加以排比,得知原台通高为宋尺 3.565 丈,自底至安装浑仪的露台面为 2.14 丈,底宽 2.1 丈。台分三层,上层即露台,称上隔,安装浑仪,可做观测。中、下层为木

结构框架，四周围以板壁，并设木门。中层称中隔，置浑象。下层为一整套水力机动装置和授时装置。有一套水池、水壶，利用水流作原动力。又有一座“枢轮”、一座“天柱”与一组“昼夜机轮八重，贯以机轮轴”，作为机动装置。更有一套由天衡、天权、天关、天条、天锁等组成的杠杆装置，即钟表的擒纵装置，控制它做均衡的运动。它的机械运动主要包含着如下内容：

(1)浑仪三辰仪南端装有特设的带齿天运环。通过天柱串入鳌云柱顶上的小齿轮，带动天运环，使三辰仪每昼夜转动一圈，配合天体的周日运动。当转运四游环并使望筒对准黄道双环夹缝中的太阳时，随着三辰仪的运转，“望筒常指日，日体常在筒窍中。天西行一周，日东移一度，此出新意也”。这同近代天文台使用转仪钟使望远镜跟随天体的周日运动做连续观察属于同一性质。近代欧洲的天文台装设钟机传动装置使望远镜跟踪天体，开始于1678年的巴黎天文台，为第一任台长卡西尼(J. D. Cassni)①所安装，较为勉强。最后至1824年，德国的夫琅和费(J. Fraunhofer)方真正有效地改善而使之正规化。卡西尼之作，已晚于苏颂、韩公廉将近6个世纪，夫琅和费就更晚了。

(2)水力传动贯串在一根立轴上的昼夜机轮，上端有一天轮，它同浑象赤道部分的天运轮相衔接，使浑象自动地一昼夜转一圈，球面星象与恒星以及日月五星的周日运动相吻合。浑象所演示的天象能够同浑仪所观测到的天象两相一致。

(3)昼夜机轮下面七重轮外侧，饰以半座五层木阁，与之相配合。最高的第一层内：每时之初，红服木人于左门摇铃；每刻，绿服人于中门击鼓；每时正，紫服人于右门叩钟。第二层：每时初，红服木人执牌出现于中门报时；每时正，改为紫服人执牌出报。第三层：结合12时初、正，逢刻有绿服木人于中门执牌出报刻数②。第四层：木人按日出没及更筹出现中门击金钲，以报夜漏时刻。第五层：木人按日出没及更筹出报夜漏箭代替漏壶。这是一座水力传动的机械时钟。苏颂与韩公廉创造性地制作了能控制走速均匀的擒纵装置，相近于近代时钟内的擒纵器。自从唐开元年间一行与梁令瓒造“浑天铜仪，圆天之象……注水激轮，令其自转，一昼夜而天运周……于柜中各施轮轴，钩键关钃，交错相持”③，首先使用齿轮系以来，韩公廉之作就更加完善了。同欧洲14世纪初叶初次在钟表中使用轴叶擒纵器相比，要早得多了。这座五层木阁装置，可说是世界上最早的天文钟。



① 有关的意见，是英国的虎克(R. Hooke，1638—1703)于1670年提出来的。

② 我国古代一日12时，有百刻。每时时初有4刻，时正亦有4刻，12时共96刻，其余4刻分别安插其中。

③ 《新唐书·天文志一》。



七、脱摘板屋、浑天象和特殊的圭表

苏颂的创造是极为丰富的。安装在水运仪象台露台上的浑仪，不像前代那样裸露在空中，而是覆有一座“脱摘板屋”。一座遮蔽雨雪的木结构板屋，以木柱和楣枋作构架，两落水屋顶上双面各有九块木板。用望筒作观测时，可摘去部分木板。它的功用相当于近代天文台的启闭屋顶。欧洲的天文台，最早使用活动开启屋顶的，为普鲁士的卡塞尔天文台(Cassel Observatory，1561)，要晚得多了。

苏颂还制作过一座特殊的天象仪，即浑天象。它是一个大圆球。球面凿星孔具备 283 官 1464 星的普天星宿。使用机动装置，一昼夜旋转一周。人可以坐在里面观看和表演各种天象。它的功用相当于现代的天象仪。这座仪器是对付那些对水运仪象台持异议的人而创作的。当元祐四年翰林学士许将提出“若(将浑仪浑象)并为一器，即象为仪，以同正天度，则两得之，请更作浑仪，从之”。[①] 苏颂家里本藏有一座样品，于是，他“因其家所藏小样而悟于心。令公廉布算数年而器成”。据此，估计这座天象仪大致完成于水运仪象台完成之后的元祐末年或绍圣初年。它的形制为：“大如人体，人居其中，有如笼，像因星凿窍，如星以备。”它能自动表演，“激轮旋转之势，中星昏晚，应星[②]皆见于窍中”。等到仪器出现于朝廷时，竟引起了一场大轰动，“星官历翁，聚观骇叹，盖古未尝有也。”[③]这应是近代天象仪最早的雏形，是一项卓越的创造，它的出现比后者要早 8 个世纪多。

苏颂、韩公廉等人所做的浑仪，同时又是一座别开生面的圭表。这是中国天文学史上唯一的一座特殊圭表，可惜几乎不为人所注意。浑仪能测量日月五星，却难于测日影验节气。圭表则相反。苏颂巧妙地在十字水趺的交点，于正南北子午线方向添置一条圭座(图 5－10)，令其表面同水趺面相平，亦刻水沟可注水检验其水平位置。圭长 1.3 丈。圭面刻有尺寸可量影长，两旁刻有与影长相适应的二十四气名。从圭面鳌云柱足中心点向上至地浑(即阴纬环)表面的中心，这刚好为望筒或直距的中心，正好高 8 尺，这就是表的高度[④]。表高 8 尺，这是古制。这个设想是相当巧妙的。因为浑仪的设计，其球心并不处于阴纬环的环心平面上，而是位于阴纬环上表面的圆心处[⑤]。故四游仪的中心亦位于地浑环上表面的圆心。在正午时



① 《宋会要》“铜仪”。关于这天象仪的构造《文物参考资料》有王振铎专文作论述。

② 《曲洧旧闻》卷八记为：“……中星昏晓，应时皆见于窍中。”但该文没有把详情描述清楚，使这浑天象同浑仪、浑象混为一谈了。

③ 《宋会要》“铜仪”。

④ 当望筒位于竖直方向时，在阴纬环表面之上与表面之下各一半，故《法要》称：“自圭面上与阴纬环面与直距望筒之半，为表之高，表高八尺，故自阴纬环面及望筒之半至鳌云之下亦高八尺”。

⑤ 地浑(阴纬环)厚 2 寸半，浑仪的结构，以“地浑环面以上为天，其下为地”。

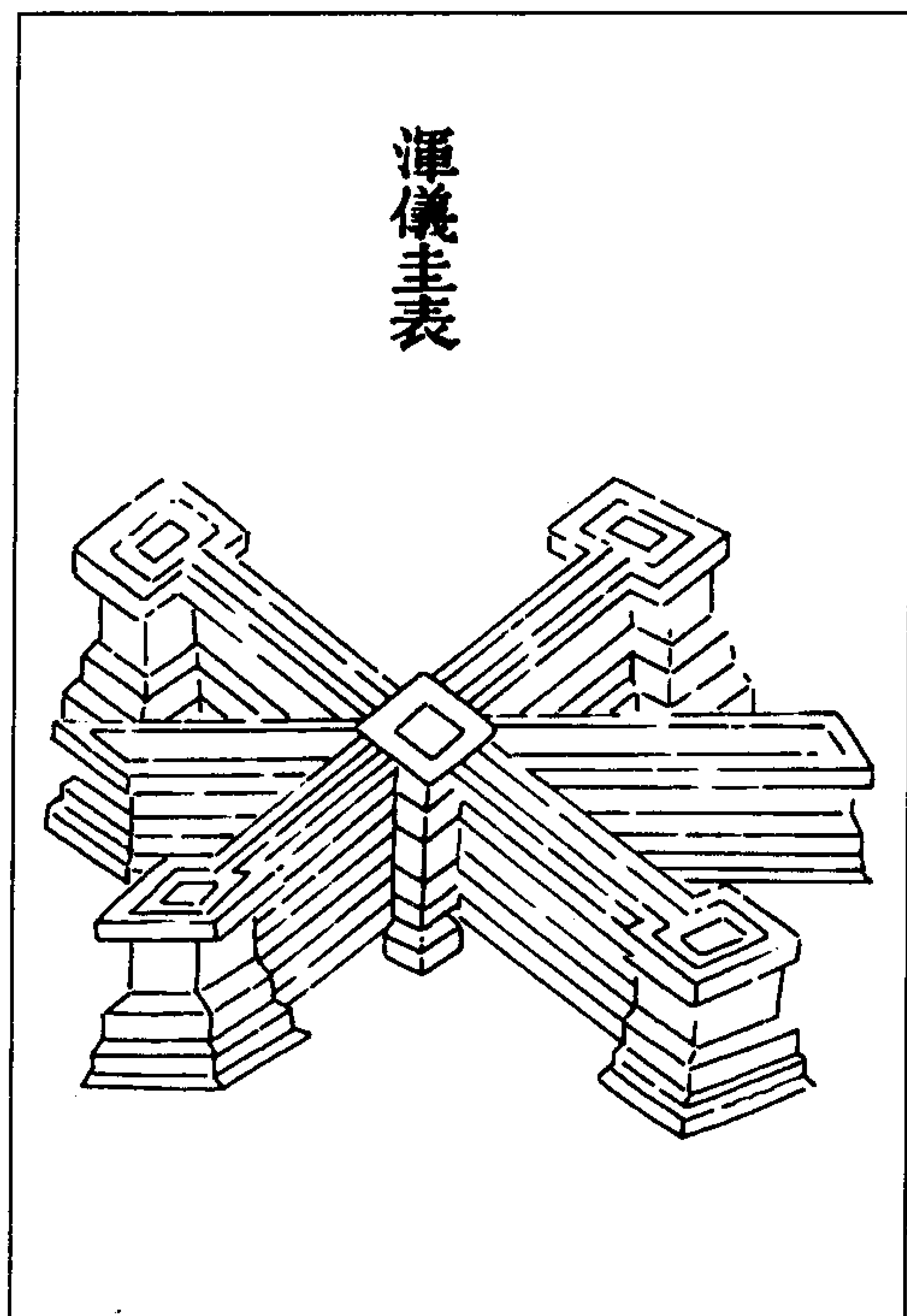


图 5—10　浑仪作为圭表用的特殊圭座(取自《守山阁丛书》)

分，将望筒指日，使日光穿过望筒孔窍射至圭面，孔影中心处，圭面上的尺寸，即为晷影长度。这样，浑仪与圭表就合二而一。一个望筒，对铜候仪，可测“五星留逆徐疾，日道升降，去极远近”；对圭表可测“下候二十四气晷景之长短”。浑仪的功用是“二法相参，则气象与上象①相合，考正历数，免有差舛”。② 这也是苏颂的一项杰出的创新。

八、苏颂制仪撰书经过及其与政治的关联

苏颂一生，除留下大量诗文见于《苏魏公文集》外，科学著作有《本草图经》与《新仪象法要》两种。后者是专为水运仪象台的完成而撰著的。通过对史料的排比，我们可以得出其经过如下：

元祐元年(1086)十一月，进行改革的神宗去世后，新即位的哲宗下诏，令吏部

---

① “气象”指二十四气现象，“上象”指上天日月星象。

② 引语均见《法要》卷下“浑仪圭表”。



尚书苏颂检验新旧浑仪。[①] 他上表汇报得失并奏请先制浑仪木样候验，然后正式制造。次年八月核准。至三年五月到十二月，先后造成小样与大样上奏。在苏颂主持和指导下，实际进行设计制造的韩公廉，曾撰著了一部《九章勾股测验浑天书》一卷，"贮之禁中"。[②]

元祐四年三月，翰林学士许将，通过昼夜测验认为新仪合格，下诏以铜铸造。初次定名为元祐浑天仪象。六年，浑仪与浑象先后制成。七年(1092)四月诏苏颂撰《浑天仪象铭》，他"图其形制，著为成书上之，诏藏秘阁"。[③] 至六月十四日，浑天仪象全部完成，更诏三省、枢密院[④]官即国家主要领导阶层一起会同阅视，可见高氏与哲宗是以极其隆重的礼遇对待这座仪象台的。

两年后，改元绍圣。绍圣三年(1096)六月，这时已成立有"元祐浑仪所"，奏请"修写仪象制度法略各一部，纳尚书省秘阁，从之"[⑤]。由此可知，元祐七年先有初稿，绍圣三年著为成书。因此，南宋尤袤《遂初堂书目》称之为《绍圣仪象法要》；《宋史·艺文志》亦称《仪象法要》，下注云："绍圣中编"。

苏颂制仪著书，有着一番曲折，并且和政治斗争也有一定的牵连。著名的王安石变法是在神宗朝。神宗去世后，高太后听政，元祐年间贬新政用旧党。苏颂是个中间人物，事事禀请太皇太后及哲宗知道。元祐元年评定前朝浑仪时，苏颂的奏报是："新浑仪系至道、皇祐中置造，并堪行用。旧浑仪系熙宁中所造，环器怯薄，水趺低垫，难以行使"。[⑥] 这里，他将 91 年前的至道仪与 35 年前的皇祐仪称为"新浑仪"，而将 12 年前的沈括熙宁仪称为"旧浑仪"，是否有意贬低执行新政的沈括呢？熙宁仪本身确是有缺点的，这在神宗元丰年间就已有人指出了[⑦]。

苏颂自己在事业上也是遇到一些制约和困扰的。首先，当许将鉴定了仪器木样后，又别出心裁提出一个新主张："今所建浑仪、浑象，别为二器。……若并为一器，即象为仪……则浑天仪、象，两得之矣，请更做浑天仪。"这任务，已如前文所述，苏颂在花了数年心血之后，终于制成了一座天象仪来解决了。但若搞得不好，差一点，恐怕连水运仪象也会告吹的。苏颂与韩公廉等人的创作，本名水运仪象台，上



① 这实际上是听政的太皇太后高氏的旨意。

② 《玉海》卷三天文书："元祐浑天仪象"。

③ 《宋会要》"铜仪"。

④ 三省为中书省、门下省和尚书省，为中央最高政务机关，掌决策及执行的大权；枢密院为掌管军事机要的最高政务机关。

⑤ 《宋会要》"铜仪"。

⑥ 苏颂：《进仪象状》。

⑦ 《玉海》卷四"元丰浑仪法要"云："熙宁中，旧器坏，沈括更造，以意增损，器成，数年未能定，与浮漏、景表不应。陈襄奏，旧浑仪坏不可用，而后所造新仪，考之又不合……"

报正名时，太史局直长赵齐良插进来说“宋以火德王，名水运，非吉兆，乞更名”[1]，从政治上提出了非议。于是哲宗定名为“元祐浑天仪象”，并指定设置于开封西南部的合台。南方是火地，象征“火德”，西方属金，金生水，是水的母体。皇帝认为这样就能把水运镇住了。《新仪象法要》一书内，仅在文内提到“水运仪象台”一词，整座仪器始终没有一个正式的命名，恐怕就在于此。

当哲宗年长亲政，恢复新法，史称“绍圣绍述”时，又起用了新派章惇等人，贬谪了坚守旧法诸老。由于先年苏颂的谨慎，对旧派的各种意见，持“君长，谁任其咎耶？但取决于宣仁太后”[2]的工作方法，因此，尽管许多元老被罢官，苏颂还是获得了哲宗的信任而被留任[3]。掌权的新党蔡卞要销毁元祐年间的仪器，由于林希等人的帮助，也终于保存下来[4]。苏颂最后回到润州，终老天年。元符元年(1098)六月时，任亳州知州的林希受命撰《浑天仪象碑》文，仪器的价值终于被最后肯定下来，苏颂临终也得到褒封。宋室南渡，曾诏有司求苏颂遗法上呈，苏颂幼子苏携进呈了《法要》，但已无人能看懂而再行重造了。作为一个高级官员的苏颂，晚年在天文学上的贡献是炳彪于天文学史的。

（撰稿人：潘鼐）

第九节　姚舜辅

姚舜辅，生平不详。据《畴人传》引《玉海》等资料记载，“徽宗时，有司以观天推崇宁二年十一月朔为丙子，颁历之后，始悟其朔当进而失进。遂造占天术，改十一月朔为丁丑，而再颁历焉。”“既而，历官言占天成于私家，不经考验，不可施用。乃命舜辅等复造新历。”“五年历成，赐名纪元，御制序。”由此可知，姚舜辅在崇宁二年(1103)以前，就私造占天历。宋朝政府发现当时行用的观天历明显后天，于崇宁二年废观天历，便行用占天历。3年之后，历官上书说占天历成于私家，不可施用，于是由姚舜辅等人再造新历。崇宁五年(1106)新制成的纪元历颁行，一直行用到北宋灭亡(1127)。



① 《玉海》“元祐浑天仪象”。

② 《宋史・苏颂传》。

③ 《石林燕语》卷二记云：“其后追治元祐党人，吕申公、司马温公、吕汲公、范忠宣、刘莘老，皆贬。免者，惟苏公一人而已。”

④ 《宋会要・铜仪》称：“绍圣中欲毁之，林希为言而得不废”。又，《曲洧旧闻》卷八记云：“绍圣初，蔡卞以其出于元祐，议欲毁之。时晁叔美为秘书少监，惜其精密，力争之不听，乃求林之中(林希)为助。子中为言于章惇，得不废。”



阮元《畴人传》说："梅征君文鼎谓'宋术莫善于纪元，尤莫善于统天'，谅哉。"纪元为北宋最著名的历法，统天为南宋最著名的历法，两者各有创造。姚舜辅制定纪元历，是经过长期的充分准备的，在计算方法上，也多有改进和创造发明。因此，他的历算研究工作，肯定开始于崇宁以前。他的学术活动年代，大约在宋哲宗(1086—1100)、徽宗(1101—1125)时期。

靖康之乱，北宋天文学文献档案几乎全部散失，纪元历也亡。纪元历虽很著名，但其作者姚舜辅的生平及其改历活动，却湮没无闻。南宋政权建立以后，于绍兴二年又重新购买得到其算法，继续行用至孝宗乾道四年(1168)，改用刘孝荣的乾道术为止。

现将姚舜辅的天文工作讨论如下。

一、天文观测

治历之要务，在于取得精密的天文数据。姚舜辅为了制定出一部精密的历法，早就在从事各个方面的天文观测了。其中较有成就的有恒星方位观测、冬至时刻观测、合朔时期观测、五星位置的观测等，并创立通过观测金星推出太阳方位的方法。

1. 宋代最精密的一次恒星观测

姚舜辅在崇宁年间曾做过二十八宿距度的观测，结果载在纪元历中。二十八宿距度是度量天体方位的一把标尺，标尺是否准确，直接关系到天体方位的准确与否。然而，在此之前的中国历法所使用的二十八宿距度，仅有汉落下闳和唐一行的两组观测值。由于落下闳时代观测仪器不精，结果是比较粗略的，一行的观测结果大致也有1度左右的误差。姚舜辅作纪元历时，对二十八宿距度才重新做出测定，并且在历法中应用。落下闳和一行的二十八宿距度值都只准确到度，而纪元历的距度却在度以下用了少、半、太来表示，使精度提高了很多。这一改进为后世历法所沿用。



宋代时，分别在大中祥符、景祐、皇祐、元丰、崇宁等时代进行过7次较系统的恒星观测，薮内清选择了景祐、皇祐、崇宁三个时代的观测，计算了它们二十八宿观测误差的绝对值，得景祐平均误差为0°.67，皇祐为0°.47，崇宁为0°.15[①]。由此可以看出，姚舜辅的这次恒星观测的精度，达到了历史上空前的程度。

落下闳、一行和姚舜辅二十八宿观测值的不同，主要是由岁差引起的，但是，中国古代的天文学家却一直没有认识到这一点，也未在理论上做出过解释。然而，姚

① 《宋代四星宿》,《东方学报》第七册(京都版)。

舜辅却认为，这些是从古到今一直变化着的，今天的观测值只符合今天的天道。“道”就是规律。古今所测天体的入宿度和去极度越近两极，就越为明显。如果将周琮在皇祐年间所测的全天星座入宿度和去极度的数值，与前人的数值相比较，就更能看出这种变化的规律。姚舜辅已经意识到古今二十八宿的距度，是按一定规律变化着的，只是还未总结出这种规律来。

2. 创立多组冬至时刻的测定方法

准确测定近距历元的冬至时刻和合朔时刻，是制定一部精密历法所需的最基本数据，这是治历之要务。可惜宋朝历法累改，大多数历法家只知写子换母，忽略了实测工作，以至于行用不久，即见疏阔。纪元历对这两个数据都是经过精密测定的。其法虽然不见记载，但也偶见于诸家的议论。

《授时历议》说：“刘宋祖冲之尝取冬至前后二十三、二十四日间晷景，折取其中，定为冬至；且以日差比课，推定时刻。宋皇祐间，周琮则取立冬、立春二日之景，以为去至既远，日差颇多，易为推考。纪元以后诸历，为法加详，大抵不出冲之之法。……积日累月，实测中晷，自远日以及近日，取前后日率相埒者，参考同异……以取数多者为定”。[①] 授时历每年取5组以上观测数据，以推算结果进行比较，求得最为精密的数值。它比仅以一组观测值确定的时刻[②]，更为精密，这个方法是符合误差理论的。纪元历在颁行时，曾改正旧历后天67刻的误差。而其后的统元历、乾道历、淳熙历、会元历，仅只写子换母，未尝测影。[③] 纪元历之所以受到人们长期的推崇，测取精密的历元和合朔数值，是其中的一个原因。

早在颁行占天历时，就已纠正原观天历月朔先天一日的误差，将崇宁二年十一月朔日丙子改为丁丑。南宋绍兴二年，高宗重购得纪元历，对辅臣说：“历官推步不精，今历差一日，近得纪元历，自明年当改正。”[④]说明当时纪元历所推合朔时刻是与天象相合的。绍兴五年，诏颁陈得一和裴伯寿造的统元历。日官不信统元，仍暗用纪元历推步。《历法通志》说：“良以纪元密于统元，故仍用以推步。徒因诏用统元，有司未敢违执，不得不以统元为名耳。”乾道二年，裴伯寿到礼部告日官推步不用统元历，致使乾道三年十一月乙丑朔依纪元历推为甲子朔。历官不得不依统元历改正。其实据汪曰桢推算，纪元历和统元历乾道三年十一月朔甲子的小余均及进限，应为乙丑朔，是日官误推[⑤]。可见纪元、统元所推合朔时刻都是与天象密



① 《元史·历志一》。
② 祖冲之以一组观测值求冬至时刻的原理，请参见整研组《中国天文学史》第90页。
③ 《宋史·律历志十五》。
④ 《宋史·律历志十四》。
⑤ 《历代长术辑要·古今推步诸术考》。



合的。

3. 发明以观测金星定太阳方位的方法

纪元历及《宋志》均无此记载。惟《元史·历志》略有涉及：

> 日之丽天，天象最著，大明一生，列宿俱熄。古人欲测躔度所在，必以昏旦夜半中星衡考其所距，从考其所当。然昏旦夜半时刻未易得真，时刻一差，则所距所当，不容无舛；晋姜岌首以月食衡检，知日度所在；纪元历复以太白志其相距远近，于昏后明前验定星度，因得日躔。

从授时历对于太阳位置观测方法的历史叙述可知，利用金星作为媒介来测太阳位置的方法，是由姚舜辅发明的。

由于金星是除日月以外全天最亮的天体，在日落前和日出后的一段时间内，仍能在天空看到它，在这时可直接测出太阳与金星之间的角距。然后等太阳下山以后（或先在日出之前），可以看到其他恒星时，再测出金星在恒星间的位置（即金星的入宿度）。再把这两次观测之间金星在恒星间的移动考虑在内，便可间接地求得太阳的确切方位。这个方法简单易行，所得结果也很精确。自从姚舜辅发明了这个观测太阳方位的方法以后，便大大扩大了观测太阳方位的机会，从而也有助于求出精确的太阳方位的数值。

这种方法为后来的授时历等所继承，并推广到利用月亮、木星来观测，所得结果更为确实可靠。姚舜辅测得冬至点在斗宿初度；郭守敬等人测得冬至点在箕宿10度，他们的结果都与真值密近。

求得冬至点的位置，与历史上所测冬至点的数值相比较，即能得到岁差值。由于姚舜辅所测冬至点的位置精密，因而推得的岁差值也很精密，为73年差1度。是我国古代历法中所使用的较为精密的数值。



4. 五星行度的观测

五星行度的观测包括历元位置、会合周期和盈缩度的观测。姚舜辅肯定是对五星行度做过观测的，现仅从历元位置和会合周期来进行分析。姚舜辅对盈缩度的求解方面有新的发展，这点将放在后面再做专门讨论。

在宋元时代，五星会合周期已测量得相当精密，其误差一般都只有千分之几日。要想获得更精密的数值，自然是很困难的了。但即使如此，纪元历仍然取得相当的进展。其中木星会合周期的误差仅为千分之二日，除明天历和统天历外（误差为千分之一），是宋元以来最精密的数值。其火星的会合周期虽不及明天历精密，但在纪元历以后却是最精密的数据之一，也为授时历所不及。纪元历土星的会合周期与今测值密合，它的结果也一直为以后的历法所沿用。金星会合周期的误差虽然稍大，它却是宋元以来最为精密的数值，也为统天、授时诸历所沿用。其水星

的会合周期仅有千分之二日的误差，也为纪元以后的历法所沿用。以上分析表明，纪元历五星会合周期确是很精密的，被以后各历法家视为具有权威性的数值。

有了精密的会合周期的数据，如果实测历元的位置不精，或盈缩历数值不精，则所推五星方位仍然具有较大误差。南宋乾道四年，为了验定新历疏密，曾于四月二十一日晨、十四日夜、二十日晨、二十四日晨、二十七日晨，测定月亮和土、木、火三星的方位，将新历与纪元历和统元历相比较，即使纪元历行用已达60余年，但统元和新历所推火星行度，仍不及纪元历精密，这是新历实测历元和盈缩历不如纪元历精密所致。

二、改进计算方法

姚舜辅在历法计算中，曾创立若干经验计算公式，使得计算简便，结果精密。具有代表性的算法有两种，一是黄赤道相互换算，二是月离九道的算法。

1. 黄赤道换算

由于黄赤道是斜交的，对于同一天体的方位，其黄道和赤道坐标是不同的。由于中国古代几何学贫乏，两者之间精密的换算是有困难的，开始时大约在浑仪或浑象上直接投影比量，后来便产生经验的近似换算公式，求得黄赤道差以后，便可进行黄赤互换。纪元历黄赤道差的公式如下[①]：

$$\text{黄赤道差}=(101^\circ-\text{入初末限度及分})\times\text{初末限度及分}\times\frac{10}{10000}$$

这种计算方法一直为后世历家所沿用，直到授时历才进行改革。

2. 月离九道



纪元历采用大衍历的说法，把月亮四季偏离黄道的运动称之为月行九道。分别求出各个不同阶段月亮偏离黄道的度数，然后再加减相应的黄赤道差，便得月亮与赤道的交角。大衍历求出的月亮偏离黄道的数值即称之为定差。然而，姚舜辅却发现，大衍历所求得的定差是不精密的，存在一系列误差。因此，纪元历把大衍历求得的定差改称之为泛差，把夏至以后月行正交的阶段称为同名，冬至后月行正交的阶段称为异名。在同名时，以$\frac{9}{8}$乘泛差得定差；异名时，以$\frac{7}{8}$乘泛差得定差。经过这样改正以后，所求得的黄白距度就更为精密。

由以上介绍可以看出，纪元历在改进我国古代历法计算方法上曾经做出了不小的贡献，所以它确实是宋代的著名历法之一。但是，纪元历也存在缺点，在计算交食时，唐末宣明历做时、气、刻三差改正，这完全是正确的，它大大提高了计算的

---

① 《宋史·律历志十二》“求二十八宿黄道度”。



精度。三差改正一直为后世历家所应用。纪元历应用三差改正，这无疑是正确的。然而，在计算月食时，它也使用了时差改正，这就发生了概念性的错误。

在计算日食时，合朔时刻并不等于食甚时刻，这一差异称之为时差。它只有当交食偏离正午时才存在。气差是太阳偏离赤道南北时形成的，所以人们又称之为南北差。该差之最大值在春秋分，冬夏至为0。它与太阳在天球上的东西方位有关，所以人们也把此差异称之为东西差。交食的成因，日在上，月在下，月挡住日光，在地上投下阴影，便成日食，各地所见有差，所以有三差改正；由于地球掩盖日光，投下阴影，当月进入地影时，便成月食。各地所见月食全同，所以无三差之理。这是纪元历的失误。

对于纪元历的成就，阮元在《畴人传》中评价说："纪元术黄赤互易、中晷损益之率，皆舜辅所创；立赤道宿度，有少半太之数；月离九道，有九因八约、七因八约之差。较之前术，亦为密近。惟月食亦有时差，为识者所讥。然小疵无损大醇也。"这是较为中肯的评价。

三、纪元历对后世的影响

中国古代历法发展到纪元历时代，可以说达到了鼎盛时期。从天文仪器来说，也已经达到相当高的精密度，能够做出比前人更为精密的观测，因而使历法达到更高的精度。姚舜辅第一次在历法计算中打破了二十八宿距度以整数表示的框框，进一步以少半太来表示度以下的部分（明天历二十八宿黄道距度已用少半、太表示）。经核算，姚舜辅所做二十八宿距度的测定，可算是自古以来最为精密的一次测量。它在中国天体方位测量史上，是占有重要地位的。



更引起人们重视的是姚舜辅已经认识到恒星的赤道坐标是在不断变化着的。古今实测二十八宿距度不同，主要不是测量不精所致，而是古今二十八宿距度确是在变化，古今天道是不同的。姚舜辅这一思想对后世很有影响，自此以后，统元、乾道、淳熙、开禧、统天、会元等各历才都注意不断实测二十八宿距度，作为自己历法的一个基本数据。

借助于金星来间接地测定太阳的方位，这是姚舜辅首先发明的。这种方法十分简便有效，为后世天文学家观测太阳方位提供了一种十分有力的手段。姚舜辅利用它测得精密的冬至点的方位，并由此推得精密的岁差数值。郭守敬等在制定授时历时依据这一原理，更推广到利用木星、月亮等来观测太阳方位。观测的对象增多，机会自然大增，也提高了精度。以前只有逢月食时才能观测太阳方位，经姚舜辅这一发明，便几乎每天都能观测了。于此便见其意义和价值。

祖冲之发明利用冬至前后二十三、二十四日日中太阳晷影的长度来决定冬至

时刻的方法，为后世历家所习用。周琮改以立春立冬前后来测定。它的改革收效虽不显著，姚舜辅却由此得到启发，可以利用多组观测值来消除观测误差，提高精度。姚舜辅测定的冬至时刻无疑是很精密的，如果准确地利用古代冬至时刻的灾测记录，便能求得精密的回归年长度。但纪元历所用的回归年长度却与前几部历法一致，可能未认真考求冬至时刻的记录，仍然沿用前历的数值。但是，新的成就终究是要显示出它的威力来的，其后的统天历和授时历利用姚舜辅的方法，终于求得 365.2425 日的精密的回归年数值。这是间接地得益于姚舜辅的发明。

姚舜辅在历法计算中创立黄赤值的互相换算的方法，创立日中晷影长度的推算方法，在推算月亮的黄白距度时创立九因八约和七因八约的经验公式，不但简化了计算方法，而且大大提高了推算的精度，多为后世历法所效法，直到授时历才做进一步的革新。

事实上，纪元历是两宋和辽金以来最有成就、最有影响的历法。南宋统治者对它十分重视。南宋的历法家在制定新历时，也大多依据纪元历，仅写子换母，换上新的历元和改变一些天文数据而已。在检验新历的精度时，也大多参照纪元历，并把纪元历作为比较的标准。辽代和金代都用大明历，其法不详。据《金史·历志》的说法，是“因宋纪元历而增损之”。这就是说，大明历是以纪元历为法的。赵知微的重修大明历也以纪元历为法，《历法通志》说：“其步气朔、卦候、日躔、晷漏、月离、交会、五星，皆与纪元历相似，故说者谓知微之于纪元，犹五纪之于麟德，正元之于大衍也。”授时历中很多天文观测方法和计算方法都来自纪元历，或者是从纪元历得到启发而加以发展的。这在《元史·历志》中都有明确记载。姚舜辅确实是我国著名的历法大家。他具有深厚的天文学基础和数学才能，在我国历法史上多所创造，作出了巨大贡献。由于战乱，有关文献几乎完全散失，他的生平活动和他所从事的天文历法工作，全无记载，无从得知其详，这是很可惜的。



（撰稿人：陈久金）

第十节 朱 熹

一、生平简介

朱熹(1130—1200)，字元晦，一字仲晦，号晦庵、云谷老人、沧州病叟、遯翁等，徽州婺源(今江西婺源)人。父松字乔年，进士，历任校书郎、著作郎、司勋吏部郎等职，是一位力主抗金的有正义感的知识分子。



图5—11　朱熹像

（取自明版《三才图会》）

朱熹于南宋高宗建炎四年，出生于福建尤溪。自幼好学，5岁即能诵读孝经。14岁丧父，遵父遗嘱，向当时著名学者胡宪、刘勉之及刘子翚学习。绍兴十八年(1148)成进士，授泉州同安县主簿。以后就学于父亲的同宿、著名学者延平李侗。

他勤学好问，知识面广。年幼刚会说话时，就指着太阳问父亲：太阳附在什么上面？答：天。又问：天又附于何物上？他一生的学术成就，与喜采问事物的根源是分不开的。他在自然哲学上提出了有关宇宙构造和演化学说，有一定进步意义，在天文学的许多领域都有较深造诣。

当时政治腐败，偏安一隅的投降派占了统治地位。他曾向宋孝宗提出坚决抗金的方针："修御之计，不时定者，讲和之说误之也"，"愿闭关绝约，任贤使能，立纪纲励风俗，数年之后，国富民强……徐起而图之"。是当时难能可贵的一位爱国主义者。

他的政治思想，是儒家正统的德治和人治，讲求仁政。他在淳熙五年(1178)上疏提出"天下之务，莫大于恤民，而恤民之本，在人君正心术"，接着指出孝宗远君子近小人，听信少数吹牛拍马者，而使政治腐败，提出警告说"莫大之祸，必至之忧，近在朝夕"，因而触怒了孝宗。

朱熹自19岁成进士，在50年的仕途中，被南宋王朝任命及提升官职达20多次。但大多数因对当权执政者腐朽无能苟安因循的政见持反对态度，多次对皇帝提出尖锐的批评，尤其是力主抗金收复失地的主张，触怒了以秦桧为首的投降派，以致"任于外者仅九年，立朝才四十日"。最终，于宁宗庆元二年(1196)被诬陷革职，庆元六年(1200)，在遭受政治打击后于贫病交困中去世，享年71岁。死后两年，即宁宗嘉泰二年，才撤销对他生前的处分，给予退休的政治待遇。

朱熹毕生除了钻研学问外，以大部精力从事教育事业，创建了宋代四大书院之一的白鹿洞书院。他在《白鹿洞书院揭示》中提倡"博学，审问，慎思，明辨，笃行"的为学之序，可以概括他的教育思想。他提出"凡人须以圣贤为己任"，"学者大要立志，才学便要做圣人也"，要求先立大志，"志既立，则学问可次第着力"。一一依次去做，深入透彻地掌握事物之理，"物格于彼，则知尽于此"。最终要求以效果检验成绩，"欲知知之真不真，意之诚不诚，只看做不做如何。"他的这些学术、教育思想，与他在自然科学上取得的成就是分不开的。

二、对宇宙起源学说的发展

宇宙的本原是什么？它是如何发生和发展的？这种“关于现存世界是通过什么方式和方法产生的理论”，在人类认识史上一直占有重要地位。

我国古代早在战国时，屈原、庄子等就已提出有关天地起源问题，汉代成书的《淮南子》中就讨论了这个问题。宋代的周敦颐(1017—1073)、邵雍(1011—1077)、张载(1020—1077)及程颢(1032—1085)和程颐(1033—1107)等都提出了关于宇宙起源的观点和学说。

朱熹曾师事李侗，而李是程颐的第三代弟子，他致力于研究程颐学说，加上自己的见解，提出自己的宇宙起源观点。

他主张宇宙中存在着“理”与“气”这两个具有不同涵义的概念。他认为理是抽象无形的，是万物的根本；气是有形的，是万物的具体表现。两者之中，理是根本，先有理后才有气，但对于一个已构成了的具体事物来说，理气又是同时存在，不可分割的。《朱子语类》卷一说：“天地之间，有理有气。理也者，形而上之道也，生物之本也。气也者，形而下之器也，生物之具也。”《朱子全书》卷四十九说：“有是理后，生是气。”《朱子文集》卷四十六《答刘叔文书》说：“所谓理与气，决是二物。但在物上看，则二物浑论，不可分开各在一处，然仍不害二物之各有一物也。”这是朱熹自然哲学、宇宙起源学说的基础。

但朱熹实际上是“理一元论”者，他在《朱子全书》卷四十九中说：“理气本无先后之可言。然必欲推其所以来，则须说先有是理。然理又非别为一物，即存乎是气之中。无是气，则是理亦无挂搭处。”十分清楚地表达了他的观点。那么，他对于理又是如何理解与解释的呢？他认为理是事物最完全的形式和最高的准则，所以称为“极”，这是对一件(个)事物而言的；而天地万物之理的总和即天地万物之最高准则称为“太极”。由于理是抽象的，太极当然也是抽象的，故又称“无极”。他在《朱子语类》卷九十四中说：“事事物物，皆有个极，是道理极至……此是一事一物之极。总天体万物之理，便是太极。”在《朱子全书》卷四十九中说得更明白：“周子恐人于太极之外，更寻太极，故以无极言之，既谓之无极，则不可有的道理。”



他还认为理并非一定与气不可分离，并非一定是相即不可分离的，“然亦但有其理，而未尝实有此物也”。说到关键处，理是第一性的，这正是唯心论的基本观点。

他把理气演化成万物的过程看作是气只有一种，依其动静状态相互转化而成为阴、阳二性。阴气流动可变为阳气，阳气凝聚亦可变为阴气。“阴阳只是一气，阴



气流行即为阳，阳气凝聚即为阴，非直有二物相对也”[1]。水、火、木、金、土这五行，每一种都由不同比例的阴阳二气所构成，清气上升为天为日月星辰；浊重之气下降为地。他在《朱子全书》卷四十九中说："天地初开，只是阴阳之气。这一个气运行，磨来磨去，磨得急，便拶去许多渣滓，里面无出处，便结成个地在中央。气之清者，便为天为日月为星辰，只在外常周环运转。地便在中央不动，不是在下。"在《朱子语类》卷四十九中也说："阳变阴合，而生水、火、木、金、土，阴、阳气也，生此五行之质。天地生物，五行独先……天地之间，何事而非五行。"清、轻之气与浊重之气中均包含五行，天地万物均由五行组成。他把在天的清气称为五行之气，在地的重浊之气，称为五行之质。这种构成万物的气十分微妙，它是无往而不在，是难于被人们感觉到的，只有凝聚成物时才能被感到。《太极图说解》说的“五行者，质具于地，而气行于天者”，《朱子语类》卷六十二说“只是这一个气，入毫厘丝忽里去”，就是此意。

朱熹主张浑天说，认为天略如鸡蛋，天在外、地在中，天包着地。“地却是有空缺处，天却四方上下都周匝，无空缺逼塞满皆是天。地之四下底下却靠著那天，天包地，其气无不通”，“天只是气，非独是高，只今人在地上便不见如此高，要之连地下亦是天”[2]，这是他的天及天地关系模型。地所以掉不下去，是因有一层气紧紧地裹住它扛住它，“为其气极出，故能扛得住地，不然则坠矣”。天的颜色是“夜半黑淬地，天之正色”。[3] 这些描述是有进步意义的，带有无限宇宙论的观点。

三、对天地关系与地体形状的认识

早在战国时慎到(约前 395—约前 315)即提出“天体如弹丸，其势斜倚”[4]，为浑天说之发轫。此后由于浑天说能以浑象直观表示天象，可用浑仪实测以及没有引入不合科学实际的数据，而得到了较快的发展，到朱熹时代已相当成熟。朱熹认为“天运不息，昼夜辊转，故地榷在中间”，“地之四面底下，却靠著那天，天包地，其气无不通，要之连地下亦是天”，“天转也非自东而西，也非旋环磨转，却是侧转”。这些都是浑天说的观点。但是他并不停留于浑天说的已有看法——日、月、星辰皆附丽于天球内壁——而认为“星不是贴天，天是阴阳二气在上面，下人看见星随天去耳”[5]。这种看法已具有无限宇宙论的观点。



① 《朱子文集·答杨元范》。
② 《朱子全书》卷四九。
③ 《朱子全书》卷四九。
④ 《慎子》。
⑤ 以上均引自《朱子全书》卷四九、卷五〇。

朱熹这里还继承了张载“地在气中”的正确思想。张载是气一元论者，提出“太虚即气”的观点。认为气是宇宙的根本，气之聚散，形成各种事物。总合未分之气为“太和”，气未聚而无形的状态为“太虚”，为气之原始气之本然。他在《正蒙·太和篇》中解释道：“太虚无形，气之本体；其聚其散，变化之客形尔”，“太虚不能无气，气不能不聚而为万物，万物不能不散而为太虚。”这里张载已具有万物和太虚之间的对立统一的朴素辩证法的思想。从哲学观点来说，朱熹是唯心主义的理一元论者，不及张载。但在解释天地在宇宙间与气的关系时，认为地是由紧出的气扛住、裹住的，这是一种可取的观点。

朱熹赞同浑天说的论点，在《朱子全书》卷五十中说：“浑仪可取，盖天不可用。试令主盖天者，做一样子……只似个雨伞，不知如何与地相附著。若浑天，须做得个浑天来。”“有能说盖天者，欲令做一盖天仪……或云似伞样。如此，则四旁须有漏风处。故不若浑天之可为仪也。”这些论点说明朱熹并非仅是一个脱离实际的自然哲学家，他主张浑天说是因为它可以与实测的浑天仪联系起来。我们从朱熹有关天文的论说中可以看到，他对于实测天象还是比较注意的，这就是他主张浑天说的一个重要原因。中国古代，对于宇宙学这类自然哲学问题的研究，大多数由朱熹等儒家学者进行的，这是由于中国古代封建社会重儒轻工（技术）等因素造成的，历代轻视技术、科学工作，归之于方技一类，如《新唐书·方技列传》中写道：“凡推步卜相医疗皆技也……小人能之……故前圣不以为教，盖吝之也。”主编《畴人传》的清代著名学者（也是大官僚）阮元也有同样看法①。作为理学家的朱熹重视天象观测是难能可贵的。



地球也是一个天体，但人们是在它上面观测天象研究宇宙的。它的形状、大小、运动和在宇宙中的位置，与天象的出没和运行位置有关，自古以来，一直是天文学研究的内容。盖天说认为“地方如棋局”（“周髀家说”），“地法覆盘”（《周髀算经》——第二次盖天说）；浑天说主要是讨论天地关系和天体视运动，对地的形状并未做明确讨论。“地如鸡中黄孤居于内……天之包地犹壳之裹黄。”这里主要论点是说“天含地”，至于地是否为蛋黄那样的球形，是不明确的。

有关浑天说的几篇经典著作中关于天地关系的内容，又是怎样说的呢？陆绩（187—219）在《浑天仪说》中说的“天绕地，半覆于地上半周地下，譬如卵白之绕黄也”。可是纵观全文，中心思想还是说明“天之形状圆周浑然，运于无穷故曰浑”及“由此言之，天乃裹地而运，信矣。”陆绩还引用扬雄的话：“扬子云太玄经曰，天穹窿而周乎下，地方薄而向乎上，故知天裹地下。”这里方（旁）薄的意思是广阔，并无球

① 《畴人传·蒋友仁传》。



体之意。又如王蕃(227—266)在《浑天象说》中提到“前儒旧说，天地之体，状如鸟卵，天包于外，犹壳之裹黄也。周旋无端，其形浑浑然，故曰浑天也。”也只是解释天的形状，对于地的形状，通篇中并无任何描述。而那篇浑天说的代表作《浑天仪注》(或作《浑天仪》)也并未明确地说到地的形状。我们认为，直到唐代的僧一行(673—727)，在全国设立五个天文点，进行天文大地测量后，也尚没有对地球是球形做出明确解释。这实在是因为把天看做球体，从直观形象置于联系，而证明地是球体则要难得多。

现在再来看朱熹对地球形状的观点。他除了同意浑天说对天的形状的解释外，认为“用之云：地形如肺，形质虽硬，而中本虚，曰然”。他把地的形状比之为肺，从自然哲学来说是以他哲学观点中的气来解释，说明天地之间气的流动交换。但要注意，他并非仅从功用如肺来说，而是说到形状。如果在此以前，地的形状已经比较明确，他是不会以此来解释的。从他对当时已公认的天文学成就和各种具体问题都相当熟悉和予以承认来看，他把地形当作肺，就是他对地球形状的见解。

从现代大地测量学的术语来说，“地球形状”即地球体的形状已如上述，而把球体上局部范围的形态称为地形，朱熹对此也是做过研究的。他在做了实地观察后写道：“今登高而望，群山皆为波浪之状，便是水清如此。只不知因甚么时凝了。初间极软，后来方凝得硬。问：‘想得如潮水涌起沙相似’曰然。”又说“五峰(胡宏)所谓一气大息，震荡无限。海宇变动，山勃川湮，人物消尽，旧迹大灭，是谓鸿荒之世。尝见高山有螺蚌壳，或生石中。此石即旧日之土。螺蚌即水中之物，下者却变而为高，柔者却变而为刚。此事思之至深，有可验者。”[①]可见他已建立了演化概念，并能承袭吸收前人正确的认识，上述石中螺蚌，即为沈括的见解。朱熹对事物发展从量变到质变的概念，在其他方面也是有反映的，如他认为季节变化并不是突变而是逐渐变化的，认为人的自幼到老也是如此。“物无骤生之理。如冬至前半月，中气是小雪。阳已生三十分之一分。到得冬至前几日，须已生到二十七八分，到是日方始得一昼。不是昨日全无，今日一旦便都复了。……人之一身，自少至老，亦莫不然”。[②] 这是正确的认识方法。但他对宇宙演化周期，却赞成邵雍的循环论，以129600年为一周，到时一切从头开始。这是邵雍根据《易纬》加以发挥写在《皇极经世》中的观点，是先天象数的论点，它以元、会、运、世作为年以上时间的计量单位，以12和30的倍数相应于年、月、日、时的进位，而得的数据[③]，是无端附会象数的结果，是古代某些学者试图以量来解释一些尚未掌握规律的事物时常易发生的错谬。



① 《朱子全书》卷四十九。

② 《朱子全书》卷四十九。

③ 一元为12会，一会为30运，一运为12世，一世为30年；一元等于129600年。

四、对北极和极星的科学阐述

岁差使得天极在天球上的位置不断变化，虽然十分缓慢，但在我国古代天文学的整个发展时期中，由于天极移动，极星已换了好几个。因极星距天极近，周日视运动缓慢，古代常将极星与天极两者混为一物。《宋史·天文志》极度条："极星之在紫垣，为七曜、三垣、二十八宿众星所拱，是谓北极，为天之正中。"就是将极星与北极看成一物。

刘宋时祖暅"以仪准候不动处，在纽星之末，犹一度有余"，发现极星不是天极（天中）。而从《宋史·天文志》中所述"而自唐以来，历家以仪象考测，则中国南北极之正，实去极星之北一度有半，此盖中原地势之度数也。……后十余年邵谔铸仪，则果用临安北极高下为之。以清台仪校之，实去极星四度有奇也"，可知在南宋时，虽然对北极与极星已能区分，但极星距极之角距在同一时代应固定不变而且不随观测地点纬度不同而不同，这一关系却还未被认识。可以认为在朱熹时代已改变了"前世皆以极星为天中"的看法，区别了极星和天极，可是对两者的关系却是朱熹解释得最清楚。朱熹指出："北辰，是那中间无星处，这些子不动，是天之枢纽。北辰无星，缘是人要取此为极，不可无个记认，故就其旁取一小星谓之极星。""问极星动不动，曰：极星也动，只是他近于辰后，虽动而不觉"，"向来人说北极便是北辰，皆只说北极不动"，至本朝人方去推得是北极只在北辰边头，而极星依旧动"。[①] 他并以旋转的制棉花糖的木盘为例，说明北极星如同在旋转圆盘上轴心附近的一个点，盘子旋转时这个点因为离轴心近而不易发现它的运动。这一解释清楚地说明了极星因离北极点近周日视运动慢而不易被发现，概念十分正确。虽然这不是朱熹本人的发现，但至少可以说明他能承袭前人正确认识且在天文学上有一定的造诣。



此外，朱熹对日、月食成因，月相成因，流星，陨石等的认识，对历法的见解，都有相当的水平。

（撰稿人：全和钧）

第十一节　杨忠辅

杨忠辅，字德之，原籍河南，南宋中期天文学家，生卒年不详。约活动于淳熙十二年(1185)至嘉泰二年(1202)。他对大衍术颇有研究，著有《大衍求原》[②]，但主要

---

① 《朱子全书》卷五十。

② 丁易东：《大衍索隐》序。



是作统天历而闻名于世。

淳熙十二年，杨忠辅官居成忠郎。他认为当时行用的淳熙历"简陋，于天道不合"[①]，一一列举了其失当之处，并按照自己撰造的"新历"重新推算了交食。但他"不敢以言者，诚惧太史顺过饰非，恃漏刻则水有增损疾迟，恃浑仪则度有广狭斜正。"他要求以天象检验方法，则其优劣"不待争纷而决矣"以天验历的思想是很可贵的，但他的担心反映出本人地位之低下。当年"阴云蔽月，不辨亏食"。淳熙十三年(1186)，诏人监之，杨忠辅与历官刘孝荣、继明各具己历相验，杨之历法误差为甚，故不为启用。

杨忠辅早期的天文活动，虽未闻有大建树，但却为他今后造统天历打下了基础。

南宋初年使用北宋的纪元历，后又四次改历。各历或"暗用纪元法推步"，或"苟弗立表测景"，"谬误为甚"。庆元四年(1198)"会元历占候多差"，杨忠辅以冬官正的身份受命由人监造新历。庆元五年历成，命之"统天"。当即予以颁行。统天历是一部极具特色的历法，集中体现了杨忠辅的天文学成就。

一、虚设而实废上元积年

历法推算要有一个起点即历元。从西汉末的刘歆开始，兴起寻求上元积年的风气。这样不但使历算过程复杂化，而且限制了天文常数精度的提高，于历法并无益处。历史上屡屡有人想跳出上元积年的圈子，但都未得长久，甚至被攻击为"小历"。杨忠辅就是其中的一个。

他设立距离颁历年仅五载的绍熙甲寅年为元，一切历算均以此元为断，实际上已完全抛弃了上元积年。但为了免遭攻击，杨忠辅"不欲明言改革，以骇人耳目"[②]，则虚设一"演纪上元"，距颁历年 3835 年。此"上元"既非甲子、夜半，更无日月合璧、五星联珠，而且也不作为历算的起算点，实在不具备上元的意义。虽然统天历"求天正冬至"一项的开头，以演纪上元为元给出了气差，但在此段术文的末尾以小字标注的形式，又给出了以近距元为元的气积差。气差和气积差分别为上元以前和近距元以后的第一个甲子日距上元和近距元的日分数(图 5－12)。显然，有了"气积差"参数后，"求天正冬至"项及与此项有关的计算均可就简采用近距元。统天历在推求月球的会合运动、近点运动以及交食时，引入了闰差、转差和交差，这三差都径直以近距元为算。上述诸差的出现是废除上元积年的必然结果，与元代授时历中的"气应"、"转应"、"闰应"、"交应"的含义相当。

统天历以前的历代官颁历法，有杨伟的景初历，以上元前月过交点和近地点的



① 《宋史·律历志》。(后凡不注引文出处者，均出于此)。

② 朱文鑫:《历法通志》"统天开禧成天历"。



图 5—12 气差和气积差示意图

时间为近点月、交点月的历元；有何承天的元嘉历，单独提出五星的“后元”；还有马重绩的调元历，明确宣称不用上元积年。尽管历史上已多有不用上元之先例，但杨忠辅还是受到了强烈的非议，并因此丢了官。统天历只行用九年即废。他的继任鲍澣之说，统天历“进历未几，而推测日食已不验，此犹可也。但历书演纪之始，起于唐尧二百余年，非开辟之端也。……以是为术，乃民间之小历，而非朝廷颁正朔、授民时之书也。”就是说推历有误事小，不用上元罪过大焉。杨忠辅的努力在当时以失败而告终，但他的这一思想为授时历所继承，撰历者明确宣布：“今授时历以至元辛巳为元……比之他历积年日法，推演附会，出于人为者，为得自然”[①]。至此，上元积年永远退出了中国历法的舞台，杨忠辅为此作出的重要贡献，是不应忽视的。

二、精确的回归年长度的考求

回归年长度是一部历法的最基本数据之一，直接关系到历法的精确与否。杨忠辅吸取了他的前任不事测影以至造成历法粗疏的教训，以圭表精心测量日影长度，并考校古今观测记录，写下了有关圭影测量的著述多种：《晷景考》《临安中午晷景常数》《八历冬至考》，等等。在他的精心测量和考求下，使统天历回归年长度值达到 365.2425 日，其误差仅为每年 22 秒，比起统天历以前的宋代各家历法，精度提高 5～8 倍[②]。授时历也采用了这一值。此值和现今世界上通用的回归年长度值是一致的，而欧洲人采用它是在 16 世纪以后了。

杨忠辅用什么样的方法，使回归年测量精度达到了如此高的水平呢？从理论上说回归年长度就是两个相邻冬至之间的时间间隔，但求回归年长度的方法却不一定非得由测两个相邻的冬至时刻而来。用两个相隔甚远年份的冬至时刻之间的时间长度除以相隔的年数，便可求得一个平均回归年长。显然，在同样的观测精度下，后者可以比前者获得更加准确的结果。因此，回归年长度值不仅与冬至时刻的测定有关，而且与推算方法有密切的关系。提高回归年长的测定精度必须从这两个方面入手。

① 《元史·历志二》“不用积年日法”。

② 陈美东：《论我国古代年、月长度的测定》，《科技史文集》，第 10 集。（以下引用有关各历数据均出于此文，不再一一列举）。



杨忠辅以前的天文学家在测量冬至时刻方面做了大量努力。南北朝时期的祖冲之发明了一种比较科学的测影方法，宋代的周琮根据其原理又做了改进。据主持编撰开禧历(继统天历后行用之历)的官员曾渐之说："今若颁来年气朔，既有去年十月以后、今年正月以前所测晷景，已见天道冬至加时分。"这一方法正是周琮所用之法，即观测立冬、立春前后的影长，以推冬至时刻。而开禧历的撰造者鲍澣之说："当杨忠辅演造统天历之时，每与议论历事。"且开禧历附统天历而行，其法与统天历同源，恐无问题。由于测影仪器——圭表的限制，回归年长精度的提高毕竟是很有限的。杨忠辅之所以在这方面取得了重大进展，关键就在于他另辟了新径，在精心测影以求当年冬至时刻的同时，还大力改进了推算回归年长度的方法。

杨忠辅作《八历冬至考》一文，当与回归年长度的推求有密切的关系。从此文的题目推测，他择优考校了历史上多部历法的冬至时刻，又通过实测，也得到了当年的冬至时刻。这样他就可以利用所考校的某一历法的冬至时刻以及他自己实测的冬至时刻，求出一个平均的回归年长度。与杨忠辅几乎同时代的秦九韶在《数书九章》中，以开禧历为例，说明了一种求回归年长的方法，正是此法[①]。授时历计算回归年长采用的也是此法[②]。按照这一方法的原理，我们选择统天历以前若干部测影较精的历法的冬至时刻，与统天历的冬至时刻相比较，求出相应的回归年长度(表 5—3)。

表 5—3　回归年长度

历法名称	作者	年代	历测回归年长(日)	冬至日、时干支序号(T_i)	与统天历相距年数(ΔT_i)	平均回归年长 = $\frac{T_{统天}-T_i+N_i\times 60}{\Delta T_i}$
元嘉	何承天	442	365.2467105	41.11	756	365.2434656
大明	祖冲之	461	.2428148	21.31	737	.2426865
大业	张胄玄	607	.2430347	6.25	591	.2430626
戊寅	傅仁钧	618	.2446111	4.64	580	.2422931
大衍	一　行	727	.2444078	35.72	471	.2429936
宣明	徐　昂	821	.2446428	48.76	377	.2424668
明天	周　琮	1063	.2435897	57.44	133	.2425182
纪元	姚舜辅	1105	.2436214	37.62	93	.2424731
统天	杨忠辅	1198	.2425000	45.17	0	



① 秦九韶:《数书九章》卷三"推气治历"。

② 《元史·历志一》"岁余岁差"。

由表5—3可见，由两个相隔年份甚多的冬至时刻求出的回归年长度值，除个别外，均比统天历以前的诸历回归年长度值的误差有大幅度下降，并且与统天历365.2425的年长值较接近，其中尤以与周琮的明天历相较所得之值为近。虽然我们还难以断言杨忠辅究竟利用的是哪部历法的冬至时刻求得回归年长的，但他开创的这种提高回归年长精度的新思想和新方法，无疑具有十分重要的价值，将我国古代回归年长度测定工作推向一个新的阶段。

三、"斗分差"概念的提出

斗分差中的"斗分"，指的是回归年长度数值日以下分数部分的分子。如统天历回归年长度数值为 $365\frac{2910}{12000}$ 日，则2910即为斗分。历代天文学家测出的回归年长度各有不同，他们认为这种不同只是观测精度不同造成的结果。而杨忠辅在历史上第一个提出，回归年长度本身也并非恒定不变，而是随着时间的推移发生微小的变化，这也就是他说的"斗分差"。统天历关于斗分差的材料有以下两条：

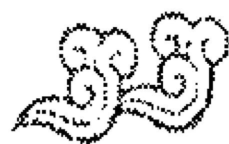
斗分差百二十七分。

以积算与距算相减，余为距差，以斗分差乘之，万约，为躔差。复以距差乘之，以减气泛积，余为气定积。①

第一段术文字面意思比较明了；第二段术文可用公式表述为：

$$\begin{aligned}躔差&=\pm(积算-距算)\times(斗分差/10000)\\&=\pm(距差)\times(斗分差/10000)\\&=\pm\Delta T\times a \qquad (1)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}气定积&=气泛积\pm距差\times躔差\\&=气泛积\pm\Delta T\times\Delta T\times a \qquad (2)\end{aligned}$$



式(1)中距差 ΔT 由绍熙五年(1194年)起算，以前为正，以后为负。a 的大小是 127×10^{-14} 分，即 1.06×10^{-16} 日。它的含义是每经过一年时回归年长度变化的量，则躔差即为距绍熙五年 ΔT 年间，回归年长度的总变化量。式(2)中，气泛积为从统天历演纪上元后第一个甲子日到所求年冬至的积日时，其计算以回归年长365.2425为准。又以计入斗分差之后的气泛积之值为气定积。

由公式(1)符号正负的规定我们可以看出，杨忠辅认为回归年长度是在逐渐变小的。他这一思想的提出，是有一定由来的。从历代回归年值的测定结果来看，其总趋势是朝减小斗分的方向发展。从四分历到大衍历，又到明天历以至统天历，斗分由0.2500、0.2445、0.2360、0.2425逐步减小。早在东汉末年刘洪就提出"四分

① 《宋史·律历志十七》。



于天疏阔，皆斗分太多故也。"①唐初著名天文学家一行，在大衍历中对减斗分问题做了专门的评述。他认为，各历"减分"有的"太多"、有的又"太少"。但毫无疑问，一行认为今历较之古历斗分应减，其原因"盖日度常变尔"②。一行的大衍历在历史上影响极大，为历家必读之作，特别是"忠辅于《易》粗窥大洐，创立日法、撰演新历"，对大衍历会更加重视。他的斗分差思想，是在历代斗分观测结果以及人们对这些结果认识的基础上，提炼出的一个理论性、规律性的概念。

另外，斗分差概念的提出也和人们造历必欲"合于春秋"的思想有关。大衍等历都曾以《左传》记载"僖公五年冬至辛亥"为准，来检验各家历法的疏密与否。杨忠辅也未能摆脱这种思想的影响。统天历得到了比较准确的，但较历代所测小很多的回归年长度值，以些推那个并非出于实测的僖公五年冬至辛亥，将产生显著的差距。斗分差的提出，恰使统天历在不损害其精确的回归年长数字的同时又能与"春秋相合"，调解了二者间的矛盾。这一点通过计算就可看得很清楚。僖公五年(前 654)距统天上元(前 2632)共积 1982 年。则气泛积 72389.82 日。又距差为零之年绍熙五年(1194)距僖公五年积 1848 年。按公式(2)，$\Delta T\times\Delta T\times a=1848^2\times127/10000=3.61$(日)。则：气定积＝723890.82－3.61＝723887.16(日)。气定积除以 60 之余数为 47.1，即僖公五年冬至日为辛亥十刻，与《左传》的记载正好相合。如果不考虑斗分差的因素，按统天历的回归年长度计算，将有 3.61 日的差距。梅文鼎对此的评论是："授时列六历以考古今之冬至。合于古者或戾于今，合于今者又差于古，其后天也，或差至一二日。惟统天历有古大今小之算以合前代所用之率。"③

杨忠辅提出的斗分差概念，首先为授时历所继承，立其岁实百年消长之说。"郭太史岁实消长不在创法五端之内，意可知矣。"④授时历百年消长一分之值也与统天历之斗分差值(合百年消长 1.06 分)极为接近。此后，围绕着斗分差即岁实消长的问题，在历史上引起了一系列的争论。明代大统历全盘承袭授时历，独去岁实消长，朱载堉却予以肯定。清代梅文鼎和江永各持肯定和否定的态度不一。按照现代天文学研究的结果，回归年长每年的变化只有 10^{-8} 日数量级。在古代的观测条件和观测精度下，是不可能发现如此微小变化的。斗分差实际上反映出的是回归年长观测误差变化的某种趋势，远远大于真值。斗分差的概念为后代精密观测所证实，杨忠辅的这一发现，在天文学史上是有着重要意义的。



杨忠辅造统天历颇具特色，并取得了重要成就，但另一方面，统天历也存在着

---

① 《晋书·律历志》。

② 《新唐书·历志》。

③④ 梅文鼎：《春秋以来冬至考》。

较大的不足。主要表现在若干天文常数的精度较低。例如：朔望月、恒星月、交点年等值，其精度都低于同时代甚至是前代的水平，以致造成统天历颁布后一年(庆元六年)就"推日食不验"。嘉泰二年五月甲辰朔日食，统天历预报先天一辰有半，杨忠辅就此丢了官。他造的统天历于开禧三年(1207)为开禧历所取代，这些事情的发生虽与杨忠辅在统天历中不用上元，而奉"民间小历之术"有关，但统天历本身因若干数据欠佳造成推历失误，恐怕也是一个重要原因。杨忠辅造历之时"太史局文籍散逸，测验之器又复不备"，对统天历的编撰产生了不利的影响。

作为天文学家的生涯，杨忠辅与统天历有着不可分割的联系。虽然他和他的统天历由于种种原因在当时受到了排斥，但他赋于统天历的种种先进思想及方法，其中包括回归年长的测定方法及精确的数值，废除上元积年、斗分差概念等，都得到了后世的推崇。统天历的这些特点大都为授时历所继承，并通过授时历流传至后代，产生了广泛的影响。梅文鼎对统天历是这样评价的："宋术莫善于纪元，尤莫善于统天。"[①]这是对杨忠辅天文工作的高度赞誉。

(撰稿人：陈鹰)

第十二节　秦九韶

秦九韶(1202? —1261?)，字道古，南宋末年著名数学家、天文学家。"以历学荐于朝，得对，有奏稿及所述《数学大略》"[②]。《数学大略》就是数学名著《数书九章》(一名《数学九章》)。秦九韶以其历学方面的造诣被人推荐于朝廷，并得到奏对的机会，可见他是精通天文历法的。可惜奏稿不存，无法窥其全豹。陈振孙说："秦博学多能，尤邃历法，凡近世诸历，皆传于秦，所言得失，亦悉著其语云。"[③]我们可以从《数书九章》得见秦九韶在历法上的贡献之一斑。《数书九章》共九类十八卷八十一题。"而前二卷[④]大衍天时二类于治历测天为详"[⑤]，故陈振孙把《数书九章》列于"历象类"。秦九韶设"大衍类"作为第一章，专门叙述他总结我国历法制定中上元积年的算法得出的"大衍求一术"——一次同余式组解法。接着，又设"天时类"作为第二章，其中第三卷全部和第四卷第一题都是有关天文历法的计算问题。此外，"营建类"第十四卷内还有一个关于天文台的设计施工问题。秦九韶总共列举



① 阮元：《畴人传》卷二二，"杨忠辅"。

② 周密：《癸辛杂识》续集。

③ 陈振孙：《直斋书录绎题》卷一二"历象类"。

④⑤ 此处"前二卷"实际上指现传刻本的前二章，即第一、二、三、四卷。



了7个直接与天文历法有关的题目："古历会积"、"推气治历"、"治历推闰"、"治历演纪"、"缀术推星"、"揆日究征"、"计作清台"。此外，还有4个与气象学有关的题目："天地测雨"、"圆罂测雨"、"峻积验雪"、"竹器验雪"。我国古代天算不分家，但对每位学者来说，还是有所侧重的。秦九韶的《数书九章》(1247年写成)是自1世纪《九章算术》以来千余年间，谈到天文历法方面最多的一部数学著作。因此，秦九韶不仅是数学家，也是当之无愧的天文学家。

一、生平简介

《宋史》没有秦九韶的传记。根据各种资料及钱大昕①、余嘉锡②、钱宝琮③、严敦杰④诸学者的考证，他的履历大约如下。

宋宁宗嘉泰二年(1202)，秦九韶生于普州安岳(今四川安岳)，父亲秦季槱是个学者，进士出身，治春秋，先后任过秘书少监、国史院编修官、实录院检讨官、潼川(今四川三台)知府等职。秦九韶自幼有条件受到较好的家庭文化教养。李梅亭说他"善继人志，当为黄素之校雠"，"良弓之子，必善为裘"⑤，都说明了这一点。

1219年，四川发生张福等人为首的兵变。秦九韶作为义兵首领，曾参与镇压活动。1224—1225年，"侍亲中都(今浙江省杭州市)，因得访习于太史"⑥，进一步学习了历算知识。后随父到潼川府。1233年，秦九韶曾官县尉，向李梅亭学骈俪诗词，"从隐君子受数学"⑦亦当在此时。至于他在何地任县尉，则无史可考。1236年，蒙古军队攻入四川，他不得不沿江东下，先后任蕲州(今湖北省蕲春县)通判及和州(今安徽省和县)太守，接着来到江浙一带，与吴潜(南宋大臣，官至左丞相，主战派)交往甚厚。1244年8月，秦九韶以通直郎为建康府(今江苏省南京市)通判，11月丁母忧解职，回湖州家居。在此期间，他总结多年来积累的"设为问答以拟于用"⑧的数学问题，"取八十一题，釐为九类，立术具草，间以图发之"⑨，于1247年写成《数书九章》。

1244年，"韩祥请召山林布衣造历，从之"⑩，焦循认为"荐九韶宜在此时"⑪。

1258年，秦九韶谒贾似道于扬州，得任琼州太守。1259年谒吴潜于鄞县(今浙



---

① 钱大昕：《十驾斋养新录》卷一四。

② 余嘉锡：《南宋算学家秦九韶事迹考》。

③ 钱宝琮："秦九韶《数书九章》研究"，《宋元数学史论文集》，科学出版社，1966年。

④ 严敦杰："秦九韶年谱"，《秦九韶与〈数书九章〉》。

⑤ 《李梅亭集》，转引自余嘉锡《南宋算学家秦九韶事迹考》。

⑥ 秦九韶：《数书九章》自序，古今算学丛书本。

⑦⑧⑨ 秦九韶：《数书九章》自序，古今算学丛书本。

⑩⑪ 焦循：《天元一释》。

江宁波)，任司农寺丞。吴当时是主战派首领，1260年投降派贾似道陷害吴潜，吴罢相，秦受株连，“窜之梅州(今广东省梅县市)，在梅治政不辍，竟殂于梅”[1]，时当在1261年。

秦九韶性格豪放，多才多艺，时人称他“性极机巧，星象、音律、算术，以至营造之事，无不精究”，诗词及“游戏、球、马、弓、剑，莫不能知”[2]。的确，从《数书九章》可以看出，秦九韶不仅对历算贡献颇大，而且在气象学、农田水利、营造建筑、赋税贸易以及军旅等方面，都有广博的知识。

二、关于秦九韶为人的评价

至于秦九韶的为人，因为有诋毁他的周密《癸辛杂识》和刘克庄《缴秦九韶知临江军奏状》传世，历来聚讼不一。焦循力辩其诬，说：“秦九韶为周密所醜诋，至于不堪”，“密以填词小说之才，实学非其所知，即所称与吴履斋(潜)交尤稔，为贾相窜于梅州，力政不辍，则秦之为人亦瑰奇有用之才也”[3]。陆心源说：“愚谓九韶既为吴履斋所重，为贾似道所恶，必非无耻之徒。能与举世不谈算法之时，讲求绝学，不可谓非豪杰之士”，并认为周密“以诗曲游贾似道之门，诽谤正人，是非颠倒可知”[4]。余嘉锡不同意这些看法，他说，秦九韶“所学虽高，不足以赎其贪污之罪也”，“(刘)克庄之奏，盖承(贾)似道意旨之为也。其用心本不出于公，然所言九韶罪状，有周密之书，李曾伯之集，可以为证，固非横肆诬蔑也”[5]。钱宝琮认为，周密、刘克庄“或有过甚之辞，但九韶为人阴险，为官贪暴，都有事实可举，并不是空言诬蔑”。[6]

不能以秦九韶与吴潜交尤稔而为贾似道所窜遂作为秦九韶人品的根据，正如余嘉锡所说，“潜所交游，岂必皆君子?”[7]；也不能以秦九韶数学上有杰出贡献而讳言他的缺点，正如钱宝琮所说，“有才有学的人未必有德”[8]。我们主张，对秦九韶应该做具体分析。数学家在中国历史上的地位都是很低的，两位伟大的数学家刘徽、朱世杰无任何传记资料，祖冲之、李冶正史有传，也不是因为数学成就，以至于连李冶的书名都写错了。秦九韶处于民族矛盾、阶级矛盾和统治者内部矛盾十分激烈的南宋末年，他置身于这些矛盾之中，并深深地卷入了统治阶级内部的错综复



---

① 周密：《癸辛杂识》续集。
② 周密：《癸辛杂识》续集。
③ 焦循：《天元一释》卷下。
④ 陆心源：《仪顾堂题跋》卷八。
⑤ 余嘉锡：《南宋算学家秦九韶事迹考》。
⑥ 钱宝琮：“秦九韶《数书九章》研究”，《宋元数学史论文集》，科学出版社，1966年。
⑦ 余嘉锡：《南宋算学家秦九韶事迹考》。
⑧ 钱宝琮：“秦九韶《数书九章》研究”，《宋元数学史论文集》，科学出版社，1966年。



杂的斗争中，他的社会地位够不上入正史的资格，但他的政敌写的野史中，却记载了他不少劣迹，“九韶之履历，颇赖以此传，则谤之正所以著之耳”①。刘克庄的奏折，周密的笔记，是当时政治斗争的产物，因此，我们也认为只有从这个角度出发，才能明辨是非。秦九韶与投降派奸臣贾似道有过接触，但自到江浙之后，他一直与主战派吴潜过从甚密。正因为如此，1260 年，贾似道专权，吴潜被贬，秦九韶作为吴潜党人受到株连。在这次事变中，刘克庄所奏起了很坏的作用。从此，直至宋亡，贾似道为首的投降派一直在朝廷掌权。因此，对秦九韶这样的中下级官僚留不下客观的记述，是可想而知的。周密系贾似道门人，秦九韶去世时，他才 20 岁，根据传言，诋毁秦九韶，亦不足为怪。我们认为焦循说周密所述，皆影响之言，不无道理。例如，对周密所说：“己未(1259)透渡，秦喜色洋洋然”②，就应具体分析。从秦九韶与吴潜的关系看，他是属于抗战派的，这有大量旁证。他不仅自己使枪弄剑，而且和当时许多爱国志士一样，留心军事问题。他的《数书九章》中，用第十五、十六两卷九个题目，设立“军旅类”，第八卷中还有“望敌圆营”、“望敌远近”两个题目，涉及军营设置，列队变换，军需供应，民众动员，侦察敌情等各方面的内容。对军事问题如此重视，并把渊博的数学知识应用于军事问题，在中国古代重要的数学著述中，是仅见的。这说明他对军旅问题，有深入的研究。他在《数书九章》自序中说明为什么设军旅类时说：“天生五材，兵去未可。不教而战，维上之过。堂堂之阵，鹅鹳为行。营应规矩，其将莫当。师中之吉，惟智仁勇。夜算军书，先计攸重。我闻在昔，轻则寡谋。殄民以幸，亦孔之忧。”这段文字的内容，显然已远远超出了单纯讲数学在军事问题中的应用。他声言不可解除自己的武装，斥责一些人不重视军事训练、缺少抗敌方略、不顾军民死活的丑恶行径，反映了在民族矛盾十分尖锐、蒙古大军压境的情况下主战派的观点，这是有所指而发的。他还强调了将帅的智谋、将帅对军士的仁爱以及部队的勇敢对战争胜负的重要作用。秦九韶怀报国之志，通武知兵，在元军渡江大举南侵的时候，以为必将得到朝廷重用，施展自己的军事才能，因而喜色洋洋，是可以理解的。说他为南宋将亡而高兴，纯属“莫须有”。结果豺狼当道，他的希望落了空，因此表示了不满，也在人情之内。又如周密说他“性喜奢好大，嗜进谋身”，其例证是“或以历学荐于朝，得对，有奏稿及所述《数学大略》”③，显然是不公正的。秦九韶有极为杰出的数学和天文历法方面的才能，认识到数学和天文学对国计民生的巨大作用，愿意用自己的天算知识为社会服务，这不但不能被指责为“喜奢好大，嗜进谋身”，反而应该表扬。周密就这个问题对他攻



① 焦循：《天元一释》卷下。
② 周密：《癸辛杂识》续集。
③ 周密：《癸辛杂识》续集。

击，恰恰说明周密自己徒有小说填词之才，实学非其所知。刘克庄说秦九韶“倅蕲妄作，几激年变，守和贩鹾，抑卖于民”，“至琼仅百许日，郡人莫不厌其贪暴，作卒哭歌以快其去”[①]，由于资料缺乏，难以探知其真相。因为对同一件事，不同阶层、不同立场的人有时会有截然相反的看法。在与吴潜、秦九韶的斗争上，刘克庄是站在专权误国的奸相贾似道和昏愦无能的宋理宗一边的。在贾似道击败吴潜之后，刘克庄秉承贾似道旨意，欲置秦九韶于死地，他的话有多少真实性，是大可怀疑的。我们认为，在缺乏客观事实记载的情况下，秦九韶的自述，远比政敌对他的诋毁之辞可靠。他在《数书九章》自序中明确表示反对巧取豪夺，主张施仁政。他说：“我闻理财，如智治水。澄源濬流，维其深矣。彼昧弗察，惨急烦刑。去理益远，吁嗟不仁。”就是说，在国民经济的积累上，他主张广开财源，发展流通，反对不了解真实情况，一味严刑盘剥。在赋役上，他主张“畡田经入，取之有度，未免力役，先商厥功，以衰以率，劳逸乃同”，“惟仁隐民，犹己溺饥”，反对“赋役不均”。秦九韶认为，数学知识对保证这些主张的实施，起着重要的作用，特别是官府的有关人员，应学习数学知识。他说：“若官府会事，则府吏一二察之，算家位置，素所不识，上之人亦委而听焉，持算者惟若人，则鄙之也宜矣。”因为计算发生错误，“差之毫厘，谬乃千百”，于公于私都没有好处。在水利工程、营造建筑上，“匪究匪度，财蠹力伤”，如果不进行测量和计算，就会劳民伤财。他主张施仁政，而数学计算的精确是澄源濬流，取之有度，反对烦刑，施行仁政的一个重要手段。这种忧国忧民的思想，并且以自己的数学知识为自己的理想服务的言论，与刘、周的指责大相径庭。刘克庄还指责秦九韶不忠不孝不仁不义，可是，秦九韶“早岁侍亲中都”[②]，20 多岁还随父在潼川府[③]，1244 年 8 月刚刚得到建康府通判的职务，11 月就丁母忧解职而回家守孝[④]，其时年已 42 岁。可见他们父子、母子感情笃厚，秦九韶是恪守传统道德的。至于刘克庄、周密指责秦九韶个人生活品德方面的问题，当然有过甚之辞。总之，我们认为，对秦九韶本人，应该把他放在当时民族矛盾、统治阶级内部矛盾斗争中来考察，对他的政敌的话，只可作为评价秦九韶的参考，而不可作为信史。



三、天文学上的成就

1. 天算思想

秦九韶生活在道学开始统治思想界的时代，又“际时狄患，历岁遥塞，不自意全

---

① 刘克庄：《后村大全集》卷八一 。

② 秦九韶：《数书九章》自序，古今算学丛书本。

③ 周密：《癸辛杂识》续集。

④ 参阅《景定建康志》卷二四。



于矢石间，尝险罹忧，荏苒十祀，心槁气落，信知夫物莫不有数也”[①]，因此产生了浓厚的数学神秘主义倾向。他认为“数与道非二本”，而数学的用途，“大则可以通神明，顺性命，小则可以经世务，类万物”。他反对轻视数学的倾向，自己也身体力行，“乃肆意其间，旁诹方能，探索杳渺，粗若有得焉”。数学研究的实践，使他也认识到“数术之传，以实为体”，“所谓通神明，顺性命，固肤末于见，若其小者，窃尝设为问答，以拟于用”。

秦九韶在《数书九章》自序中还精辟地论述了数学知识在天文历法、气象、田域、测望、赋役、钱谷、营建、军旅以及市易中的巨大作用。而他对数学在天文历法中的应用尤为重视。他总结了我国历史上数学在人们认识天象、制定历法中的应用，说：“若昔推策以迎日，定律而知气，髀矩濬川，土圭度晷，天地之大，囿焉而不能外。”他认为历法是人们“追缀而求，宵星昼晷”而制定出来的，因此，“历久则疏”。不过，“性智能革”，而改革历法，必须运用数学知识，寻求天象的规律，否则“不寻天道，模袭何益?”他表彰了汉代张苍、许商、乘马、延年、耿寿昌、郑玄、张衡、刘洪等天文学家“或明天道，而法传于后；或计功策，而效验于时”的功绩，批评了“后世学者自高，鄙不之讲，此学殆绝”的现象。他认为当时的情况是，“惟治历畴人，能为乘除，而弗通于开方、衍变。”就是说，当时的历学家，不懂治历中的数学方法，或者说数学造诣不深，不会解高次方程和同余式组，这影响了历法计算的精确性。因此，秦九韶着力在这方面下功夫。在高次方程的数值解法和一次同余式组的解法上取得了极其卓越的成就，并用于天文历法的计算问题，在中国数学史和中国天文学史上都作出了贡献。

2. 推算上元积年——大衍求一术

秦九韶最为得意的杰作是“大衍求一术”，即一次同余式组的解法。我国一次同余式问题是为适应天文学家推算上元积年的需求而产生的。我国古代历法以一个称为“上元”的年份作为起算点，这一年要满足某些特殊的条件，例如，魏杨伟景初历（237 年制定）规定以冬至、朔旦（朔日子夜）和甲子日零时会合的时刻作为上元，从上元到制定历法当年所累积的时间就叫作“上元积年”。若设 a 为一回归年日数，b 为一朔望月日数，当年冬至距最近甲子日零时为 R_1 日，距十一月平朔时刻为 R_2 日，那么景初历上元积年数 N 就是同余式组

$$aN \equiv R_1 \pmod{60} \equiv R_2 \pmod{b}$$

的解，式中表示以 60 除 aN 余 R_1，以 b 除 aN 余 R_2。

有人认为，至迟在西汉末年，我国古代历算家已经能求解简单的一次同余



① 秦九韶：《数书九章》自序，古今算学丛书本。本小节以下所引皆同此。秦九韶所说的“数”，往往有“数术”和“数量”两个含义。

式[①]。以后，推算上元积年的方法，在畴人中世代相传，但未形成严整的数学方法。因此，“历家虽用，用而不知”[②]，甚至还误认为是“方程”（即线性方程组）问题。公元四五世纪出现的《孙子算经》中有一个同余问题：“今有物不知其数，三三数之剩二，五五数之剩三，七七数之剩二，问物几何？”亦即求满足同余式组

$$N \equiv 2 \pmod 3 \equiv 3 \pmod 5 \equiv 2 \pmod 7$$

的最小正整数 N。但题设简单，凭心算即可求出答案。直到秦九韶以前，同余式解法还没有引起数学家们的足够重视，也没有形成中国传统数学中的一个独立分支。所以秦九韶说：“独大衍法不载《九章（算术）》，未有能推之者。”[③]秦九韶青年时代曾在杭州向太史令学习天文学，掌握了历算家推算上元积年的基本方法，加以数学上的概括、提高，创造了系统的一次同余式组解法。它的基本思想是：

设 $a_1, a_2, \cdots, a_n$ 两两互素，求满足

$$N \equiv R_i \pmod{a_i} \qquad i = 1, 2, \cdots, n$$

的最小正整数 N。秦九韶称 $a_i(i=1,2,\cdots,n)$ 为“定数”，称 $M=\prod_{i=1}^{n} a_i$ 为“衍母”，称 $G_i=\frac{M}{a_i}(i=1,2,\cdots,n)$ 为“衍数”。秦九韶认为，如果能找到一组数 $k_i(i=1,2,\cdots,n)$，满足

$$k_i G_i \equiv 1 \pmod{a_i} \qquad i = 1, 2, \cdots, n$$

则

$$N \equiv R_i k_i G_i \pmod M$$



秦九韶称 $k_i(i=1,2,\cdots,n)$ 为“乘率”。

因此，问题的关键是求乘率 k_i。秦九韶首先指出：“诸衍数各满定母去之，不满曰奇，以奇为定，用大衍求一入之，以求乘率。”[④]这就是说，若 $G_i > a_i$，设 $G_i \equiv g_i \pmod{a_i}$，$0 < g_i < a_i$，则可用 g_i 代替 G_i，而与 a_i 求乘率[⑤]。我们现在通常把一次同余式组的解法称为大衍求一术，实际上，秦九韶的原意是把求乘率的方法称为大衍求一术的：“大衍求一术云，置奇右上，定居右下，立天元一于左上，先以右上除右下，所得商数与左上一相生入左下，然后以左行上下以少除多，递互除之，所得商数随

① 李文林，袁向东：《中国古代不定分析若干问题的探讨》，《科技史文集》第8辑，上海科技出版社，1982年。

② 秦九韶：《数书九章》自序，古今算学丛书本。

③ 秦九韶：《数书九章》自序，古今算学丛书本。

④ 秦九韶：《数书九章》卷一，古今算学丛书本。

⑤ 在同余式理论中，这叫作“传递性”：若 a、b 同余，b、c 同余，则 a、c 同余。



即递互累乘，归左行上下，须使右上末后奇一而止，乃验左上所得，以为乘率。或奇数已见单一者，便为乘率。"[1]这个辗转相除的过程，可以图解如下(我们省去下标 i)：

1)

1	g
	a

2)

1	g
	$a=gq_1+r$

3)

1	$g=r_1q_2+r_2$
$C_1=q_1\times 1$	$r_1\quad q_1$

4)

$C_2=q_2C_1+1$	$r_2\quad q_2$
$C_1=q_1$	$r_1=r_2q_3+r_3$

5)

$C_2=q_2C_1+1$	$r_2=r_3g_4+r_4$
$C_3=q_3+C_2+C_1$	$r_3\quad q_3$

⋮

$m+2$)

$C_m=q_mC_{m-1}+C_{m-2}$	$r_m=1\quad g_m$
$C_{m-1}=q_{m-1}C_{m-2}+C_{m-3}$	r_{m-1}

当右上的剩余 $r_m=1$ 时，则

$$C_m = q_mC_{m-1}+C_{m-2}$$

就是所求的乘率。钱宝琮已经证明了这种方法的正确性，并且指出 m 必须是偶数[2](实际上，奇一在右上，便保证了这一点)。

问题在于，实际问题中的诸 a_i 一般地并不两两互素，甚至有的是小数，有的是分数。秦九韶把它们称作"问数"，并分成以下四种情况："一曰元数，谓尾位见单零者"；"二曰收数，谓尾位见分厘者，假令冬至三百六十五日二十五刻，欲与甲子六十日为会



① 秦九韶：《数书九章》卷一，古今算学丛书术。

② 钱宝琮："秦九韶《数书九章》研究"，《宋元数学史论文集》，科学出版社，1966 年。

而求积日之类”;“三曰通数,谓诸数各有分子母者,本门问一会积年是也”;“四曰复数,谓尾位见十或百及千以上者”[①]。其中与上元积年计算有关的第二、三两种情形,或以分厘作单零,或化为假分数后只考虑分子,皆归入第一种情形。然后根据元数和复数的不同类型,给出了不同的处理方法,把诸“问数”化为两两互素的“定数”。

秦九韶在《数书九章》卷三“治历演纪”题中具体论述了南宋开禧三年(1207)鲍澣之《开禧历》上元积年的推算方法。开禧历以 $365\frac{4108}{16900}$ 日为一回归年,$29\frac{8967}{16900}$ 日为一朔望月,把它们化为假分数,取分子得 6172608 和 499067。又据实测“嘉泰甲子岁气骨一十一日四十四刻六十一分五十四秒”及“嘉泰甲子岁天正月朔一日七十五刻五十五分六十二秒”,即公元 1204 年冬至在甲子日子正后 11.446154 日,十一月平朔在甲子日子正后 1.755562 日,各以日法 16900 乘,得“气定骨”193440,“朔定骨”29669,冬至在平朔后 193440－29669＝163771,即为“闰泛骨”。欲求上元甲子岁到嘉泰甲子岁(1204)的年数 N,应解一次同余式组

$$6172608N \equiv 193400 \pmod{60 \times 16900} \quad (1)$$

$$\equiv 163771 \pmod{499067} \quad (2)$$

由于(1)、(2)的数字过于庞大,秦九韶将之简化,以便于使用大衍求一术。

首先,从(1)式入手。因上元和本年同是甲子岁,故有 $N=60n$,又因 6172608 ＝365×16900＋4108,故(1)式可写作

$$4108 \times 60n \equiv 193440 \pmod{60 \times 16900} \quad (3)$$

而斗分 4108 与日法 16900 有公约数 52,故以 60×52 约(3)式,可得

$$79n \equiv 62 \pmod{325} \quad (4)$$

用大衍求一术求 79 与 325 的乘率:



1)

1	79
	325

2)

1	79
	325＝79×4＋9

3)

1	79＝9×8＋7
$C_1$4＝4×1	9　4

① 秦九韶:《数书九章》卷一,古今算学丛书本。



4)

$C_2 33=8\times4+1$	7　8
4	$9=7\times1+2$

5)

33	$7=2\times3+1$
$C_3 37=33\times1+4$	2　1

6)

$C_4 144=37\times3+33$	1　3
37	1

得 144，即

$$79\times144\equiv1(\mathrm{mod}\ 325)$$

于是，(4)式变为

$$n\equiv62\times144(\mathrm{mod}\ 325)$$

$$n\equiv153(\mathrm{mod}\ 325)$$

以 60 乘，得

$$N\equiv9180(\mathrm{mod}\ 19500)$$

或

$$N=19500m+9180(m\ 为正整数) \tag{5}$$

其次，将由(1)式所得到的上面这个结果(5)代入 (2)式，有

$$6172608(19500m+9180)\equiv163771(\mathrm{mod}\ 499067) \tag{6}$$

因

$$6172608=499067\times12+183804$$

而

$$183804\times19500\equiv377873(\mathrm{mod}\ 499067)$$

$$183804\times9180\equiv474260(\mathrm{mod}\ 499067)$$

故(6)式可写作

$$377873m+474260\equiv163771\ (\mathrm{mod}\ 499067)$$

$$377873m\equiv188578(\mathrm{mod}\ 499067) \tag{7}$$

仿(4)，用大衍求一术求得 377873 与 499067 的乘率 457999，即

$$377873\times457999\equiv1(\mathrm{mod}\ 499067)$$

因此可由(7)式得到

$$m\equiv188578\times457999(\mathrm{mod}\ 499067)$$

$$m\equiv402(\mathrm{mod}\ 499067)$$



取 $m=402$，代入(5)式，即得

$$N=19500\times402+9180$$
$$=7848180$$

于是上元到开禧三年的积年为

$$N+3=7848183$$

秦九韶“大衍求一术”定名之前，历法中求上元积年用到同余式解法时，称为“方程”，大概是因为布算时列出等式多行，“乘除消减”，“约而齐之”，与《九章算术》内解线性方程组相类似，故借名称之。当时太史局人员求开禧历上元积年时正是用此“方程”法，但所立算式繁而无当。秦九韶于此题之后加注曰：“所谓‘方程’，正是‘大衍术’，今人少知。非特置算繁多，初无定法可传，甚是惑误后学，易失古人之术意。”秦九韶的上述解法，则灵活便通，简捷明了，颇具新意，正如他自己所说：“数理精微，不易窥识，穷年致志，感于梦寐，幸而得之，谨不敢隐。”①

此外，《数书九章》卷一“古历会积”也是一道求上元积年的同余问题。

3. 推求朔望月长度——调日法

调日法在中国数学史和天文学史中都占有重要地位，它是调整朔望月日数小余部分的分母（日法）和分子（朔余）的一种分数近似算法。《宋史·律历志》“周琮明天历(1064)”及宋李心传《建炎以来朝野杂记》乙集(1216)等文献中都有关于何承天(370—447)调日法的记载。周琮谓“累强弱之数”，“于强弱之际，以求日法”；李心传谓“求日法以齐朔分”。但具体如何“调”法，原术无考。秦九韶《数书九章》卷三“治历演纪”题内载“调日法如何承天术，用强弱母子互乘得数，并之为朔余”；又，“开禧历以何承天术调得一万六千九百为日法，系三百三十九强，一十七弱。先以强数三百三十九乘强子二十六，得八千八百一十四于上；次以弱数一十七乘弱子九，得一百五十三，并上共得八千九百六十七为朔余”。此即以 $\frac{26}{49}$ 和 $\frac{9}{17}$ 为一朔望月日数小余部分的强弱二率（过剩与不足近似值），求中平之率 $\frac{26m+9n}{49m+17n}$。取定日法为 16900 之后，求强弱二数 m、n，相当于求不定方程



$$49x+17y=16900$$

的整数解。

据秦九韶列出的“算图”，他是巧妙地利用了 $3\times17+1\times49=100$ 的特殊性质，在

① 秦九韶：《数书九章》卷三，古今算学丛书本。



$$x = 17\left[\frac{3 \times \frac{16900}{100}}{49} - \frac{y}{49}\right] + \frac{16900}{100}$$

中，先求出使括号内的数为整数的 y 的最小值 17，然后算出 x 的值 339 的。这样，便有

$$49 \times 339 + 17 \times 17 = 16900$$

故朔余为

$$26 \times 339 + 9 \times 17 = 8967$$

秦九韶对调日法的这种解释虽然与累强弱之数的“累”义不合，却同李心传所谓求日法以齐朔分的意义相近，作为对“调”法的一种猜测，也是有可能的。况且，古历以日法求朔余，几乎都合于此法。

4. 推求回归年长度及冬至时刻

南宋杨忠辅《统天历》(1199)对于精确的平均回归年长度的推求，采用了一种简便的方法。秦九韶在《数书九章》卷三“推气治历”中也是采用的这种方法。

若实测得相距 t 年的两年冬至时刻(设其日时的干支序号分别是 T_1、T_2)，则平均回归年长度的岁余为

$$\frac{T_2 - T_1 + [60]_r}{t}$$

而其间任何一年(距始年 t' 年)的冬至时刻其日时的干支序号为

$$\frac{T_1 + t' \cdot 岁余}{[60]_r}$$

这就是秦九韶“问太史测验天道：庆元四年(1198)戊午岁冬至三十九日九十二刻四十五分，绍定三年(1230)庚寅岁冬至三十二日九十四刻一十二分，欲求中间嘉泰甲子岁(1204)气骨、岁余、斗分各得几何”的基本解法。这里 $T_2 - T_1 = 1230 - 1198 = 32$(年)，但秦九韶按 33 年入算，当有误记。

此题与《数书九章》卷三“治历推闰”都是历法中的基本四则运算问题。



5. 行星运行计算法——方程术

秦九韶在《数书九章》卷三“缀术推星”题中，用“方程术”(线性方程组解法)计算岁星(即木星)行度：已知合伏于 $t_1 = 16.9$ 日内共行 $S_1 = 3.9$ 度，后又顺行 $t_2 = 113$ 日，其 $S_2 = 17.83$ 度，求合伏段初行率(第一日速度)、末行率(最后一日速度)v_1，顺行段末行率 v_2，等等。

根据唐宋天文学家计算日、月、五星行度的公式

$$S = vt + \frac{1}{2}t(t-1)\alpha$$

内 α 为日差(每日加速度)，得

$$S_1 = v_1 t_1 + \frac{1}{2} t_1 (t_1 - 1) \alpha$$

$$= (v_2 + t_2 \alpha) t_1 + \frac{1}{2} t_1 (t_1 - 1) \alpha$$

$$= v_2 t_1 + t_1 \left[t_2 + \frac{1}{2} (t_1 - 1) \right] \alpha$$

$$S_2 = v_2 t_2 + \frac{1}{2} t_2 (t_2 - 1) \alpha$$

代入已知数据 t_1、t_2、S_1、S_2，即得

$$16.9 v_2 + 2044.055 \alpha = 3.9 \quad (1)$$

$$113 v_2 + 6328 \alpha = 17.83 \quad (2)$$

这是一个线性方程组。《九章算术》(1 世纪)采用直除法消元，即以某行某未知数的系数遍乘另一行各项，然后逐次相减以消元。刘徽在九章算术注(263)中提出了互乘相消法。秦九韶则更加完善了互乘相消程序。他在《数书九章》卷一七“推求物价”题下叙述的“以方程求之，正负入之”的线性方程组解法，和现在的加减消元法完全一致。在本题(缀术推星)的术草中，他再次强调“凡方程之术，先欲得者存之，以未欲得者(之系数)互遍乘两行诸数……”于是，以 113 乘(1)式，以 16.9 乘(2)式，二者相减，即得

$$124035.015 d = 139.373$$

于是

$$\alpha = 0.00112366(度)$$

这就是“日差一十一秒二十三小分六十六小秒”。求得日差 α 后，v_0、v_1、v_2 等便容易求出来了。



6. 圭表测影——增乘开方术

秦九韶在《数书九章》卷四“揆日究微”题中，为了推算圭表给定影长的发生时刻，在一节气内采用比例内插法，但已知夏至与冬至的影长各为 a 与 b，求其余各节气的影长 l_i 时，则采用公式

$$l_i = \sqrt{a^2 + c d_i}$$

其中 c 为夏至节率，d_i 为某节气乘率。这里需要用到开平方的运算。《数书九章》81 个问题中用包括开平方在内的方程来解的有 21 个问题，“揆日究微”就是其中的一个。这些问题中有 26 个二次或高于二次的数字方程，其中二次方程(包括开平方)20 个，三次方程 1 个，四次方程 4 个，十次方程 1 个。本题中有 3 个二次方程(都是开平方)，未立详草。但从其他问题开方演算的详草来看，秦九韶发展了北宋贾宪(11 世纪上半叶)所创的“增乘开方术”，提出了高次方程求正根的完备的程



序，它的基本思想是在求得根的一位得数之后，用随乘随加的办法求减根方程，这比从《九章算术》开始的传统开方术简便、整齐，而且其运算原则，不论开平方、开立方以至开任何高次方都是一致的，因此可以用于求解任意高次数字方程的正根。这是秦九韶在方程论方面的辉煌成就，比西方取得同样结果（意大利数学家罗斐尼，P. Ruffini，1804；英国数学家霍纳，W. G. Horner，1819）要早五六百年。

7. 天文台的设计与施工

秦九韶在《数书九章》卷十四的“计作清台”题中，提出了建筑一座“正高一十二丈；上广五丈，袤七丈；下广一十五丈，袤一十七丈”的正四棱台天文台的工程问题，并绘有一张“清台图”（图5—13），要求“台下铺石脚七层，先用砖包砌台身，次用砖叠砌转道，周围五带，并阔六尺，须令南北二平道、东西三峻道相间”，对台阶的级数等都做了具体的规定，为我们考察古代天文台的建制提供了宝贵的资料。此外，还规定了每人每天走多少路，运多少土等生产指标，要求“甲乙丙三县差夫”，“俱以道里远近、税力多少均科之”，问各县需派差夫多少？需用土方、砖石多少？等等。解决这些问题的基本方法是“以商功求之，均输入之”。所谓“商功”，是指各种立体体积的计算；而“均输”，是指各种比例分配问题。天文台的设计与施工，原材料、工程量、人力的计算与分配，都要用到商功和均输等数学知识和方法。

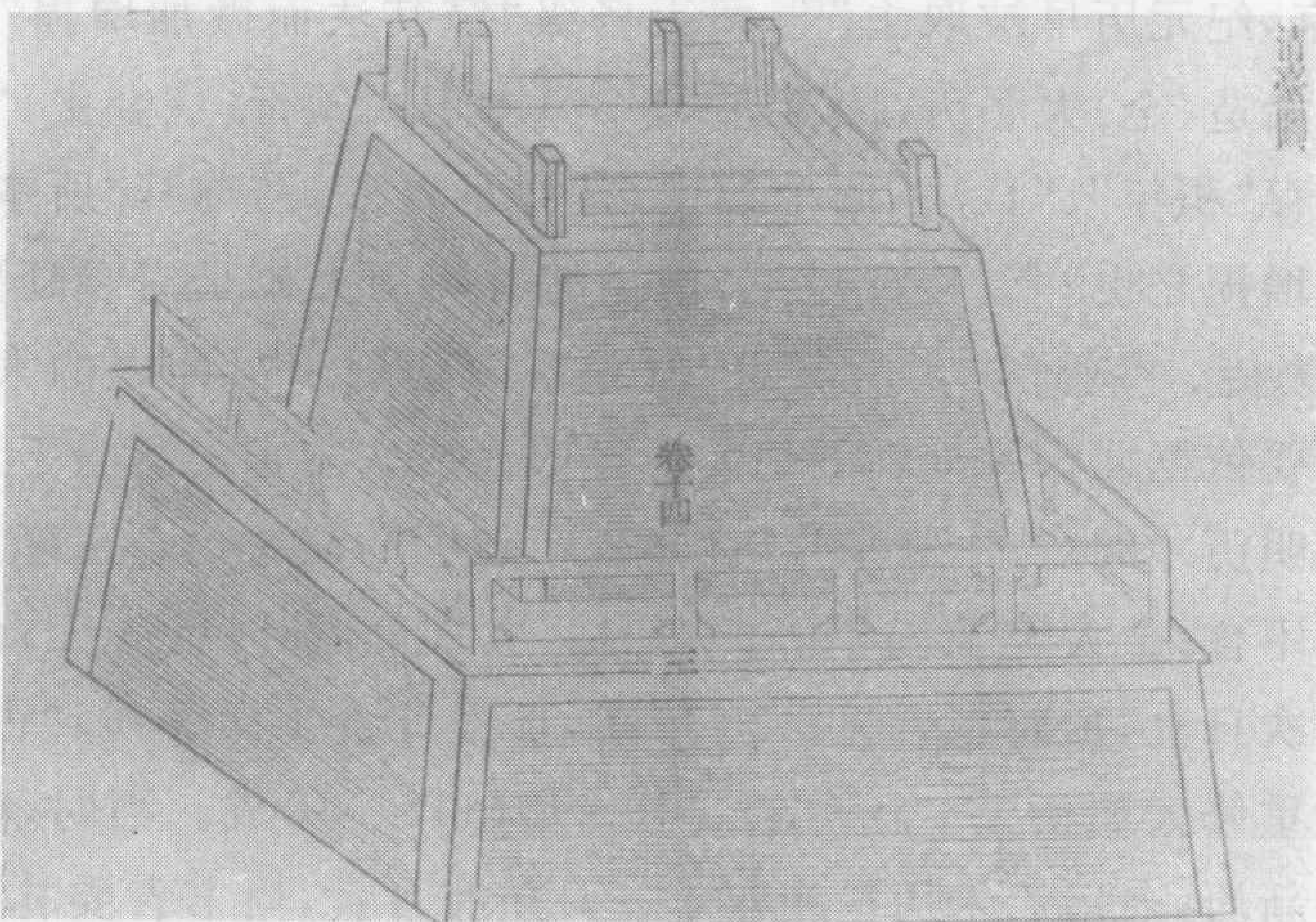
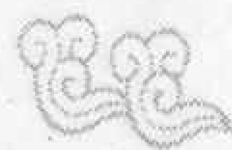


图5—13　秦九韶设计的天文台



总之，秦九韶以他广博精深的数学知识和一些独创的数学方法解决了当时天文学上许多实际问题。

（撰稿人：郭书春、王渝生）

第六章　金元天文学家

第一节　赵知微

赵知微，金代天文学家。但正史无传。据《金史》"张行简传"、"任忠杰传"及《金史》"历志"、《元史》"历志"，知其为金世宗完颜雍（1161—1189年在位）时司天监，金大定二十一年（1181）造《重修大明历》。

一、重修大明历颁行始末

金朝于1115年开国，1125年灭辽，1126年灭北宋。当时北宋姚舜辅的纪元历（1107）已行用了20年。宋高宗赵构（1127—1162年在位）南渡后，"星翁离散，纪元历亡，绍兴二年（1132）高宗重购得之。"[①]于绍兴三年（1133）在南宋重颁纪元历。其时"金人汴京，纪元历早被取去"[②]，司天杨级"窥其法而微加增损"[③]于金太宗天会五年（1127）始造（金）大明历，10年后（1137）才正式颁行。《金史》"历志"所载杨级的大明历仅存"积年"、"日法"两个数据，其详不可考，乃称其"所本不能详究，或曰因宋纪元历增损之也"[④]。由此可见，杨级的大明历大概是沿袭辽贾俊的大明历（994年造，已失传。今《辽史》"历象志"所载系南朝刘宋祖冲之的大明历）。金大明历的内容主要依据北宋姚舜辅的纪元历修改而成，"实未尝测验于天"[⑤]。



杨级的大明历才颁行了20来年，就出现了较大的误差。金正隆三年（1158）的一次日食当食不食；金大定十三年（1173）的两次日食，加时皆先天；而金大定十七年（1177）的一次日食，加时则后天。20年间，预报日食4次失误，"占候渐差，乃命司天监赵知微重修大明历"[⑥]，金大定二十一年（1181）历成。当时，翰林应奉耶律履也造了一种新历，名曰乙未历。当年十一月望有月食，尚书省委礼部员外郎任忠杰会同司天历官一起观测这次月食的准确时刻，比较赵知微重修大明历与耶律履

---

① 《宋史》卷二一"历志上"。

② 朱文鑫：《历法通志》"历法沿革史"，商务印书馆，1934年。

③ 朱文鑫：《历法通志》"历法沿革史"，商务印书馆，1934年。

④ 《金史》卷二一"历志上"。

⑤ 《元史》卷五二"历志一"。

⑥ 《金史》卷二一"历志上"。



乙未历以及当时行用的杨级大明历之亲疏，结果证明赵知微所造的新历优越，于是决定采用赵知微的重修大明历，自金大定二十二年(1182)起颁行。

几年以后，大约在金章宗明昌初年(1190—1196)，此时赵知微可能离任或去世，司天台刘道用又改进新历，章宗便“诏学士院更立历名”[①]，礼部郎中张行简“奏乞复校测验，俟将来月食无差，然后赐名”[②]。于是，“诏翰林侍讲学士党怀英等复校”[③]。结果发现，明昌二年十二月十四日金木星俱在危13度，刘道用历在十三日，差1日；明昌三年四月十六日夜月食，刘道用历算时刻与实测不合。刘道用“不曾考验古今所记，比证事迹，辄以上进，不可用”[④]，因而受了处分。于是，赵知微重修大明历自1182年颁行之后，便一直行用到金朝灭亡(1234)。至于元朝，自铁木真于1206年建号成吉思汗，脱离金朝统治，建立蒙古汗国以来，也一直承用重修大明历。1220年庚辰岁，元太祖西征，“五月望，月食不效；二月、五月朔，微月见于西南”[⑤]，重修大明历后天。中书令耶律楚材曾“损节气之分，减周天之秒，去交终之率，治月转之余，课两曜之后先，调五行之出没”[⑥]，并“创为里差以增损之”[⑦]，造《西征庚午元历》来消除重修大明历的一些误差，但却未予颁行。一直到至元四年(1267)“西域札马鲁丁撰进万年历，世祖稍颁行之”[⑧]。至元十三年(1276)，“平宋，遂诏前中书左丞许衡、太子赞善王恂、都水少监郭守敬改治新历”[⑨]。至元十七年(1280)冬至历成，诏赐名曰授时历，于1281年起颁行。所以，元朝在1280年以前仍然使用重修大明历。由此算来，赵知微的重修大明历自1182年至1280年于金、元两世行用达99年之久，是中国历法史上使用时间较长的一部历法。

二、重修大明历本自纪元历

近人朱文鑫认为，“《金史》‘历志’凡二卷，载赵知微重修大明历七篇，与宋纪元历大同小异。末载浑仪一篇。前史论仪象，皆载在‘天文志’，而此志独异。予因此而益信知微历之出自纪元。此篇述苏颂韩公廉之制，详于宋志。盖金既取汴，仪器尽归金人，苏颂之台，亦辇致于燕。故志言：‘自汴至燕，相去千余里，地势高下不同，望筒中取极星稍差，移下四度，才得窥之。’可见金既用之，自必纪之特详。且仪



① 《金史》卷一六〇“张行简传”。
② 《金史》卷一六〇“张行简传”。
③ 《金史》卷一六〇“张行简传”。
④ 《金史》卷一六〇“张行简传”。
⑤ 《元史》卷五二“历志一”。
⑥ 《元史》卷五二“历志一”。
⑦ 《元史》卷五二“历志一”。
⑧ 《元史》卷五二“历志一”。
⑨ 《元史》卷五二“历志一”。

器既尽归金人，当时所用之纪元历，亦必随之。""知微历具载于志，元元本本，揆其用数，皆与纪元相同。"[①]"其步气朔、卦候、日躔、晷漏、月离、交会及五星，皆与纪元历相似。故说者谓知微之于纪元，犹五纪之于麟德，正元之于大衍也。"[②]

我们知道，762 年，唐代宗司天台官属郭献之等，"复用麟德元纪，更立岁差，增损迟疾、交会及五星差数，以写大衍旧术"，制"与大衍小异"的五纪历[③]；783 年，唐德宗司天徐承嗣等，"杂麟德、大衍之旨"，制"其气朔、发敛、日躔、月离、轨漏、交会，悉如五纪法"的正元历[④]。于是，唐"开元(713—741)以后，唐历皆依据大衍，或沿袭麟德，不能出二家之范围"[⑤]。至于宋代，北宋姚舜辅的纪元历(1106)首创利用金星偕日出没法来测定"日躔"，所定岁实朔策，甚为密近；南宋杨忠辅的统天历(1199)用截元近距，悟岁实消长，创斗分诸差，于是"宋之纪元、统天，犹唐之麟德、大衍，同为一代之善历"[⑥]，而常为其他所宗法。如纪元历之日躔表，即为统天、开禧(1207)、成天(1270)乃至授时(1280)等历所本。

重修大明历的日月五星等天文数据、表格和各种计算方法都与纪元历相同或接近。见表 6—1 所列。

表 6—1　重修大明历与纪元历之比较

	重修大明历	纪元历
回归年长度(日)	365.243595	365.243621
恒星年长度(日)	365.256800	365.257200
朔望月长度(日)	29.530593	29.530590
恒星月长度(日)	27.321687	27.321667
交点月长度(日)	27.212225	27.212206
近点月长度(日)	27.554609	27.554609
水星会合周期(日)	115.8760	115.8762
金星会合周期(日)	583.9014	583.9028
火星会合周期(日)	779.9316	779.9297
木星会合周期(日)	398.8800	398.8860
土星会合周期(日)	378.0903	378.0917



① 朱文鑫:《十七史天文诸志之研究》"金史"，科学出版社，1965 年。
② 朱文鑫:《历法通志》"辽金历志略"，商务印书馆，1934 年。
③ 《新唐书》"历志五"、"历志六"。
④ 《新唐书》"历志五"、"历志六"。
⑤ 朱文鑫:《历法通志》，商务印书馆，1934 年。
⑥ 朱文鑫:《历法通志》，商务印书馆，1934 年。



除了“步日躔”中，重修大明历考虑到内插法的需要，把纪元历的日躔表析为二表：“二十四气日积度及盈缩”和“二十四气中积及朓朒”；“步晷漏”中，重修大明历也是考虑到内插法的需要，比纪元历多一张表：“二十四气陟降及日出分”；“步交会”中，求日月食定用分，即求日月食食限辰刻的方法，重修大明历不同于纪元历以外，“步日躔”、“步晷漏”、“步交会”其余的部分以及“步气朔”、“步卦候（发敛）”、“步月离”、“步五星”诸篇，其数据、表格和计算方法，二历都相同。由此可见，重修大明历主要是以纪元历为本的，但也有若干新的创造。

三、采用三次差内插法

重修大明历采用了三次差内插法，在步晷漏“二十四气陟降及日出分表”中，大雪气一项的有关数据如下：

增损差：损 初　八　　二
　　　　　 末　九　三十二

加减差：加十

陟降率：降　一十
　　　　　　　四十

初末率：初一　二十八　五十
　　　　末空　　　七　一十二

日出分：一千五百五十七
　　　　　　　　五十二

这里，以初末率是陟降率的一差，增损差是二差，加减差是三差，逐日列出差分表（表6—2）。

由表6—2可见与原有关数据相合。若以二次差内插法计算初末率，末率为：

$$1.2850-14\times0.0802-\frac{14\times13}{2}\times0.0010=1.2850-1.1228-0.0910=0.0712$$

用三次差内插法计算陟降率，降率为：

$$1.2850\times15-\frac{15\times14}{2}\times0.0802-\frac{15\times14\times13}{6}\times0.0010$$

$$=19.2750-8.4210-0.4550=10.3990$$

$$\approx10.40$$

由计算可知亦与原有关数据相合。可见重修大明历内已有三次差内插法。

元王恂、郭守敬的授时历则是把这种方法全面推广到历法计算中有关的各个方面。例如，在推太阳行度中，授时历测定冬至后初日太阳行度为1.05108569度，较平行度1度多出510.8569分（万分为度），名为盈加分；又冬至后一日太阳行度



为 1.05059183 度，于此得两日差 4.9386 分。元初沿用金重修大明历，知冬至后 88.92 日共盈积度为 2.4015 度。依三次差内插法公式，当有：

表 6—2　差分表

	陟降率	一差	二差	三差
初日	0			
		1.2850		
一日	1.2850		−0.0802	
		1.2048		−0.0010
二日	2.4898		−0.0812	
		1.1236		−0.0010
三日	3.6134		−0.0822	
		1.0414		−0.0010
四日	4.6548		−0.0832	
		0.9582		−0.0010
五日	5.6130		−0.0842	
		0.8740		−0.0010
六日	6.4870		−0.0852	
		0.7888		−0.0010
七日	7.2758		−0.0862	
		0.7026		−0.0010
八日	7.9784		−0.0872	
		0.6154		−0.0010
九日	8.5938		−0.0882	
		0.5272		−0.0010
十日	9.1210		−0.0892	
		0.4380		−0.0010
十一日	9.5590		−0.0902	
		0.3478		−0.0010
十二日	9.9068		−0.0912	
		0.2566		−0.0010
十三日	10.1634		−0.0922	
		0.1644		−0.0010
十四日	10.3278		−0.0932	
		0.0712		
十五日	10.3990			
	(≈10.40)			

$$88.92\times510.8569-\frac{1}{2}\times88.92\times(88.92-1)\times4.9386-\frac{1}{6}\times88.92\times(88.92-1)\times(88.92-2)x=24015$$

得 $x=0.0186$。以 510.8569 为一差，−4.9386 为二差，−0.0186 为三差，求冬至后 $n(\leqslant 88.92)$ 日盈积度，为：

$$n\cdot510.8569-\frac{1}{2}n(n-1)\cdot4.9386-\frac{1}{6}n(n-1)(n-2)\cdot0.0186$$

即

$$513.3200n-2.4600n^2-0.0031n^2$$

故《元史》“历志”内说：“其盈初缩末者，置定差三十一，以初末限乘之；加平差二万四千六百，又以初末限乘之；用减定差五百一十三万三千二百，余再以初末限乘之：满亿为度，不满退除为分秒。”据此“平立定三差术”便可推算每日盈分立成表了。



四、创立日月食食限辰刻的几何方法

历法内求日月食食限辰刻，历来都用代数方法，以经验公式推求。重修大明历则创用几何方法求得。

重修大明历步交会“求日食定用分”中说：“置日食之大分，与三十分相减相乘（平方开之），又以二千四百五十乘之，如定朔入转算外转定分而一，所得为定用分。减定余为初亏分。加定余为复圆分。各以发敛加时法求之，即得日食三限辰刻。”

如图 6－1 所示，为清梅文鼎《历学骈跂》内所补“日食三限图”。设日、月的视直径都是 15 分，S 为日心，M_1 为初亏，M 为食甚，M_2 为复圆时的月心，则 CD 即为食分（日食之大分）。据图，用赵爽公式容易证明[①]：

$$MM_1{}^2 = (AE - CD) \cdot CD$$

即

$$MM_1 = \sqrt{(30 - 食分) \times 食分}$$

便是初亏到食甚的时间。$2MM_1$ 便是从初亏经食甚至复圆的全部见食时间。食甚时刻（定余）加、减 MM_1，便是复圆与初亏的时刻。

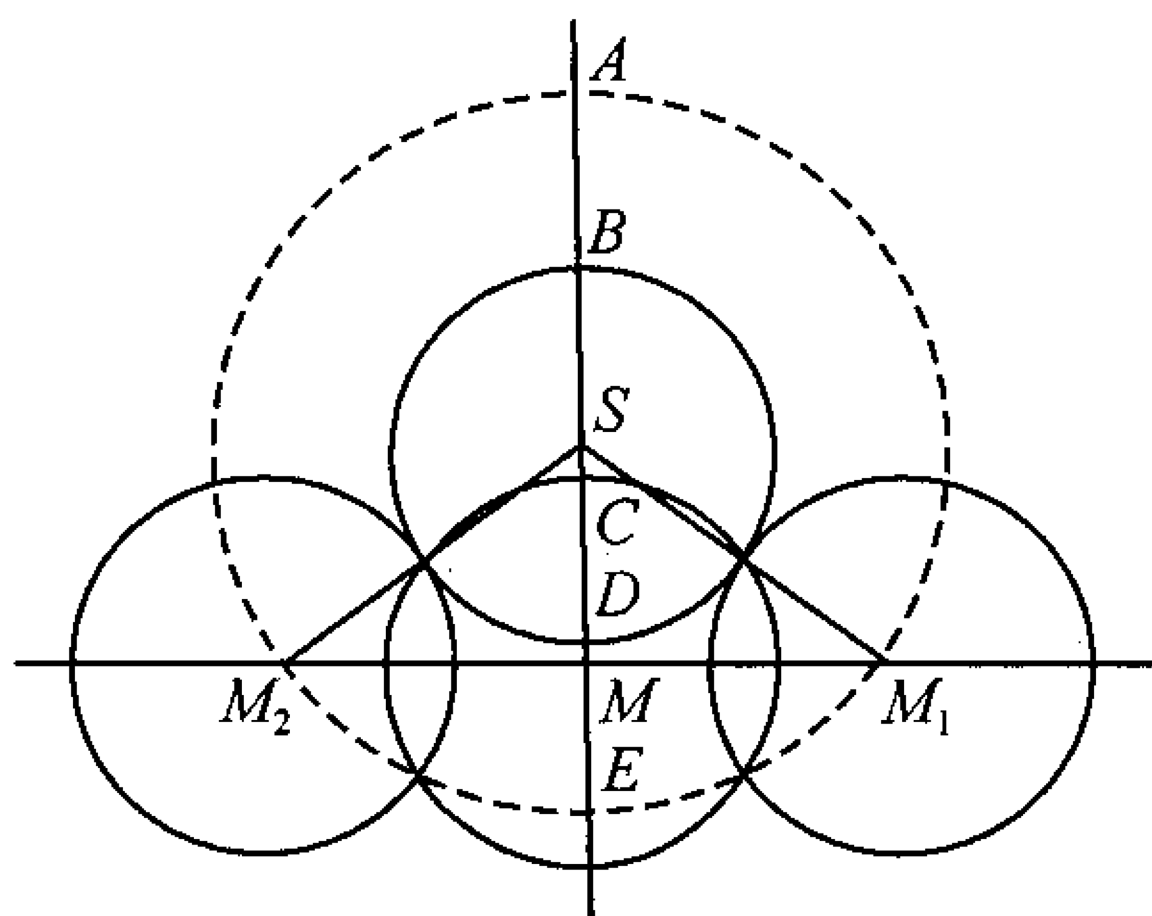


图 6－1 日食三限图



至于“求月食定用分”中说：“置月食之大分，与四十五分相减相乘（平方开之），又以二千一百乘之，如定望入转算外转定分而之，所得为定用分。加减定余为初亏、复圆分。各如发敛加时法求之，即得月食三限辰刻。”又，“月食既者，以既内大分与十五相减相乘（平方开之），又以四千二百乘之，如定望入转算外转定分而一，所得为既内分。用减定用分为既外分。置月食定余减定用分内初亏。因加既外分为食既。又加既内分为食甚。再加既内分为生光。复加既外分为复圆。各以发敛加时法求之，即得月食五限辰刻。”

---

① 参阅严敦杰：《宋金元历法中的数学知识》，载《宋元数学史论文集》，科学出版社，1966 年。

则如图6—2所示"月食三限图"中，C 为地影中心，M_1 为初亏，M_3 为食既，M 为食甚，M_4 为生光，M_2 为复圆时的月心。设月亮直径为15分，地影直径为30分，故 $CA=45$ 分。BG 为"食分"，$BG-CB=CG$ 为"既内大分"。M_1M_3 为"既外分"。"M_3M"为"既内分"。要求初亏到食甚的时间即求 M_1M 的长。仿照"日食三限图"，于此可以证明：

$$M_3M^2=(2MG-GC)\cdot GC$$

即

$$M_3M=\sqrt{(15-\text{既内大分})\times\text{既内大分}}$$

食甚到生光、复圆的时间与食甚到食既、初亏时间相同。

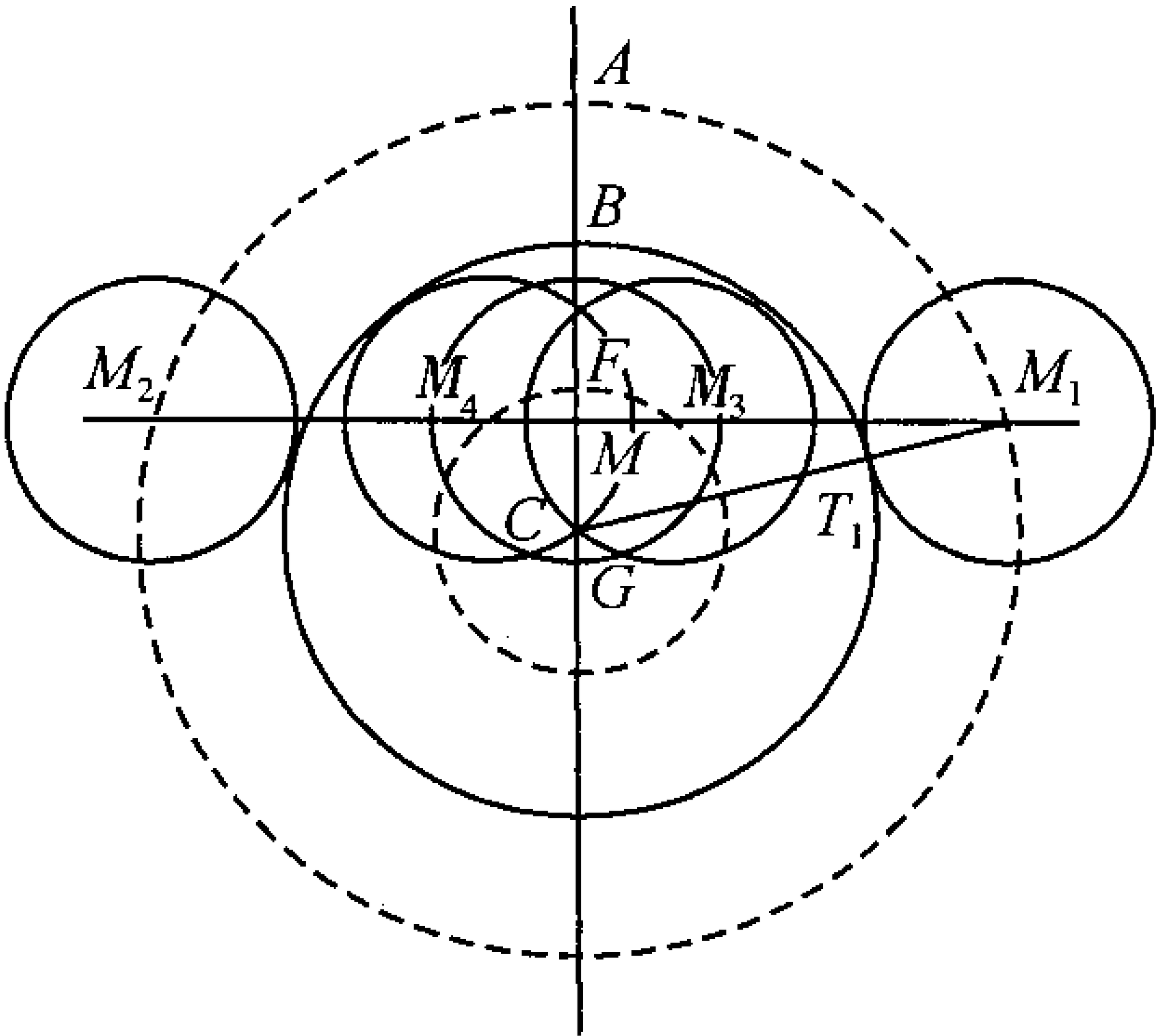


图6—2　月食三限图

授时历步交会"求日食定用及三限辰刻"、"求月食定用及三限辰刻"则完全因袭重修大明历的几何方法。



五、精确的天文数据

重修大明历在月亮运动周期方面有很高的精确性，其有关常数与真值比较如表6—3。

表6—3　有关常数与真值比较表

	重修大明历	真　值	差　值
朔望月	29.530593日	29.530582日	+0.000011日(0.9504秒)
恒星月	27.321687日	27.321661日	+0.000026日(2.2464秒)
交点月	27.212225日	27.212220日	+0.000005日(0.4320秒)
近点月	27.554609日	27.554550日	+0.000059日(5.0976秒)



授时历的朔望月 29.530593 日，恒星月 27.321671 日，交点月 27.212224 日，近点月 27.554600 日或与重修大明历相同，或相近但更精密。再加之授时历的回归年 365.242500 日优于重修大明历的 365.243595 日，所以授时历是比重修大明历更优秀的历法。

重修大明历取黄赤交角为 23.90 度，折合今度为 23°33′23″.3，与真值 23°32′44″.3 比较，差值仅为＋39″.0。从中国历法史上看，仅次于北宋史序的仪天历（差值＋23″.9，1001 年）和三国时东吴王蕃的值（差值－34″.9，264 年），比授时历（差值＋1′35″.9，1281 年）还精确。而在欧洲，以观测精密著称的丹麦天文学家第谷（Tycho Brabe，1546—1601）于 1596 年测定的黄赤交角值 23°31′30″与真值 23°29′30″.6相比较，也还有近 2′的误差。中国古代对黄赤交角的测定历来具有很高的精确性，而重修大明历在其间更是佼佼者。

此外，重修大明历取岁差值为 75 年又 8 个月差 1 度，这比授时历 66 年又 8 个月差 1 度更要精密一些。

六、评价和影响

赵知微重修大明历上承北宋纪元历，下启元授时历，于金、元两代，相继及并行了 99 年之久，是中国古代一部带有关键性的重要历法。如上所述，它的主要成就是在三次差内插法和日月食的几何计算方法上。此外，在月亮运动周期、黄赤交角和岁差等天文数据方面，也有很高的精确性。还有，重修大明历“步月离”中有一张“转定分及积度朓朒率”即月亮距近地点日数的运行速度表，这在中国数学史上是第一次在数据表示中使用了零的符号“0”。其后才为南宋秦九韶《数书九章》（1247）、金李冶《测圆海镜》（1248）、元王恂等《授时历》（1281）、元朱世杰《四元玉鉴》（1303）等所普遍采用。这说明零的符号“0”是我国土生土长的，并非自印度或阿拉伯传入。[①] 因此，重修大明历不仅在中国天文学史上，而且在中国数学史上，都具有重大的意义。



严敦杰认为，据苏联学者和日本学者所提供的线索[②]，伊斯兰天文学文献中有与重修大明历“演纪：上元甲子距今大定庚子，八千八百六十三万九千六百五十六年”相同的积年数据，是为重修大明历于 12、13 世纪传到西方的蛛丝马迹。这是中国古代历法向西方传播仅见的一例。阿拉伯文的伊斯兰天文历法著作又被译成拉

① 严敦杰：《中国使用数码字的历史》，《科技史文集》第 8 辑，上海科学技术出版社，1982 年。

② 参阅，M・H・Harbl—Huazok，Acmpohouuieekaa whoia yillzleka，uock ka，1950；今井溙，回回天文学にけえ为中国历，《天宫书》XIII，Dec. 1954；今井溙，Ulugh Beg 表つ畏吾儿历，《西南アミツア研究》，1962 年。

丁文传到了欧洲，对欧洲天文学的发展产生了很大的影响。近代天文学的奠基人哥白尼在他的著作中就多次引用过伊斯兰天文历法中的数据和材料。因此，包括中国在内的东方天文学对近代西方天文学的影响是不容忽视的。

（撰稿人：王渝生）

第二节　耶律楚材

耶律楚材（1190—1244），字晋卿，契丹族人，辽东丹王突欲八世孙，通历算的金宰相耶律履之子。金章宗明昌元年六月二十日（1190 年 7 月 25 日）生，元太宗十六年五月十四日（1244 年 6 月 21 日）卒。自幼学习天文历算，博览群书，旁通地理、术数、医卜等。是中国 13 世纪前期的政治家和天文学家。



图 6—3　耶律楚材像
（引自明版《三才图会》）

元太祖铁木真（成吉思汗）十年（1215）取燕后，耶律楚材被召用，很受信任。1229 年元太宗窝阔台汗继位后，他参与制定规章制度，劝亲王察合台（太宗兄）行君臣礼以尊君权。次年建议军民分治，州郡长吏专理民事，万户府总军政；反对以汉地为牧场之说。建立赋税制度，立十路征收课税使，专掌钱谷。破金汴京时，废屠城旧制，奏封孔子后裔袭爵衍圣公，主张以孔学治理国家。设立经籍所、编修所，渐兴文教。元太宗九年（1237），以守成必用文臣为理由，开科取士，释放被俘为奴的汉族儒人。他在元太祖和太宗时期任事近 30 年，于太宗三年八月任中书令。耶律楚材的意见为元朝巩固对中原地区的统治打下了基础。他还有诗文集《湛然居士集》十四卷。

在天文学方面，他编著《庚午元历》。在该历中，他创立“里差之法”，作为天象预报中东西方向上不同观测地点的改正，这实际上是在中国首次提出的地理经度的初始概念。耶律楚材还作《麻答巴历》，可惜具体内容已失传。

一、《庚午元历》的概貌

耶律楚材于 1220 年（庚辰）随元太祖成吉思汗西征，到达寻斯干城（今撒马尔罕）。当时，这个地区是中亚各民族文化的交汇地，作为天文学家，耶律楚材在这里同别的天文学家讨论、争论过天文问题。例如元朝苏天爵撰写的《元朝名臣事略》



中有这样的记载："国初未有历学……公奏十月望夜月蚀，回鹘人言不蚀，其夜月蚀八分，上大异之……"很可能，在讨论中，耶律楚材也吸收了别人的长处。他在这里观测天象，发现金朝的大明历在这里应用有很大误差。为了正大明历之失，也为了使历法不仅在中原地区，而且在寻斯干等地区都能适用，耶律楚材在学习、研究前人历法的基础上，于1220年修成《庚午元历》。

金朝使用的历法，最早是杨级的大明历(1127)，后来是赵知微于1181年修成的重修大明历。耶律楚材是在重修大明历的基础上修改制定《庚午元历》的，所以《庚午元历》中的许多数据，如日法、岁实、朔实、岁策、朔策、气策、望策、朔虚分等，与重修大明历完全相同。尤其是两历的步气朔术、步卦候术、步晷漏术三部分不但数据完全一样，其主要的推算方法也是相同的。

《庚午元历》除了上述步气朔术等三个部分外，还包括步日躔术、步月离术、步交会术和步五星术，一共七个部分。朱文鑫在他的《历法通志》中说："庚午历原系修改大明，故日法气朔五星周期等数，皆与知微历(即赵知微修撰的《重修大明历》)同，其他岁差、转终、交终等数亦不过少减余秒而已。"

由《庚午元历》的转终分化算得近点月的长度是27.55460842日，比《庚午元历》修成时(1220)近点月的理论值(由现代公式计算)27.55455816日大0.0000503日；而重修大明历的转终分化算得到的近点月长度是27.55460918日，比该历修成时(1181)的近点月理论值27.5545857日大0.0000506日，可见，《庚午元历》所载近点月的数值，比重修大明历更精密。由《庚午元历》的交终分化算得交点月的长度是27.21222382日，比1220年的理论值27.21221794日大0.0000059日；而重修大明历的交终分化算得交点月的长度是27.21222501日，比1181年的交点月理论值27.21221780日大0.0000072日，《庚午元历》所载交点月的数值比重修大明历的数值更好。综上所述，《庚午元历》和重修大明历一样，月亮各个运动周期都很精密，而两历相比起来，《庚午元历》更好一些。



在岁差方面，《庚午元历》的数值是赤道岁差每78年差1度，而重修大明历是每76年差1度，二历所用岁差值的精度相当。

值得提起的是，《庚午元历》和重修大明历一样，回归年的长度采用365.24359465日，与现代理论推算的1220年时的长度相比，仅长了1分57秒；而朔望月长度采用29.53059273日，与现代理论推算的1220年的长度相比，仅长了0.5秒，精确度是很高的。

梅文鼎说："元之历法，实始耶律，故庚午元历之法，授时多本而用之。崇祯历

书，乃谓授时阴用回回，非也。"[1]耶律楚材编的《庚午元历》虽然没有被成吉思汗批准颁行，但他这一工作，在重修大明历和授时历中所起承上启下的作用，却是不容抹杀的。

二、创立里差之法

阮元在《畴人传》里指出：《庚午元历》"与赵知微术同，惟以寻斯干城为里差之元，以东加之，以西减之，为楚材之创法耳。"朱文鑫在《历法通志》中说："惟里差之法是其特创，实开后世经度之先。"这充分表明我国地理经度的初始概念，是在一行的地理纬度概念明确形成之后500年，由耶律楚材建立起来的。

耶律楚材在《庚午元历》中规定："以寻斯干城为准，置相去地里，以四千三百五十九乘之，退位，万约为分，曰里差"，"以东加之，以西减之"[2]。耶律楚材把寻斯干城作为地理经度的起始（类似今天的本初子午线），把某地与它的距离乘$\frac{4359}{100000}$叫作里差，如某地在它东边，则用加法，如在西边，则用减法，来计算天象预报中不同地理经度地方的发生时间的改正。这一经度初始概念在元朝诞生，有其时代背景：第一，元朝国土辽阔，东西相距十分遥远，这是宋朝没有的条件，而元朝则有条件在相距甚远的东西两地进行同一天象的观测。第二，如上文所述，耶律楚材到了中亚各民族文化交汇地区，而地球是球形这一科学见解，当时在中亚细亚的花剌子模地区已经传播开来，耶律楚材吸收这一科学见解或由此启发他创造"里差之法"是可能的。

"里差之法"的诞生是建立在耶律楚材的天文观测的基础上的，例如他在给成吉思汗的《进征西庚午元历表》中说："庚辰圣驾西征，驻跸寻斯干城。是岁五月之望，以大明太阴当亏二分，食甚子正，时在宵中。是夜候之，未尽初更，月已食矣。"[3]还有一次是"庚辰……西域塔实干……二月、五月朔微月皆见于西南，公因别造庚午元历进之……"[4]当然，后者主要是说明原来的历法所预报的朔的时刻不准，例如预报的朔日，实际月相却是初二、初三或二十八、二十九的了；并不是塔实干和中原相差经度3小时，能引起所见月相变化如此之大（3个小时内，月相变化是很微小的）。而月食时就不同了，在经度相差几个小时的地方观测，月食开始时的两地地方时也就应相差几个小时。耶律楚材据此提出里差的概念，是很有科学



① 冯澂著：《算学考初编补注》，见《四部总录天文编》商务印书馆，第72页。
② 《元史》卷五六，"志"八，"历"五。
③ 苏天爵：《元朝名臣事略》卷五。
④ 苏天爵：《元朝名臣事略》卷五。



道理的。庚辰岁五月的月食，在《宋史·天文志》和《金史·天文志》里都有记载。宋史中说“嘉定十三年五月甲辰，月当食，云阴不见”；金史中说“兴定四年五月甲辰，月食”。按照当时使用的金朝《大明历》，这次月食的食甚在半夜12点。但初更还没有结束（黄昏八九点）耶律楚材就观测到了月食，如果把初亏到食甚的时间考虑进去，那么观测到食甚大致在9～10点钟，与历法预报的时刻差了二三个小时。差别是这样明显，自然引起了耶律楚材的重视，使他考虑造成这样大差别的原因在哪里？在《进征西庚午元历表》中他做了回答：“金用大明，百年才经一改，此去中原万里，不啻千程，昔密今疏，东微西著，以地遥而岁久，故势异而时殊。”原因之一是大明历本身随着近百年岁月流逝，精度降低了；原因之二是观测地点不同，大明历预报的月食时刻主要适用于中原地区，而西域远离中原“万里”，这样，大明历预报时刻与实际观测到月食的时刻如果在中原地区相差还很微小的话，那么到了西方的寻斯干就十分明显了，即表现为“东微西著”。当然，这只是在当时人们使用的都是当地的地方时间，没有使用统一的时间这种情况下才会发生。

为了消除由于地域不同所引起的上述差异，耶律楚材“以西域、中原地里殊远，创立里差以增损之”[①]，使得本来只适用于寻斯干地区的《庚午元历》，由于应用了“里差之法”，在东方的中原地区和别的地区同样也能使用。他创立“里差之法”为的是消除上述差异，那么效果如何呢？我们不妨举一实例来检验：

在《庚午元历》里记载里差应用的有六处：步气朔术中的“求天正冬至”，步日躔术中的“求冬至赤道日度”，步月离术中的“求朔弦望中日”、“求经朔弦望入转”，步交会术中的“求朔望入交”和步五星术中的“求五星天正冬至后平合及诸段中积中星”。现以推求冬至时刻为例做检验。“求天正冬至”说“置上元庚午以来积年，以岁实乘之，为通积分”；“先以里差加减通积分”，“满旬周，去之；不尽，以日法约之，为日，不盈为余”。可见里差的改正作用是以里差与日法（《庚午元历》里日法是5230）之商出现的，我们称它为里差改正量，以$\Delta\lambda$表示，又设里差为λ，则

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{5230}$$

根据里差定义有

$$\lambda = \pm\frac{4359}{100000}\cdot S\text{（寻斯干东为正，西为负）}$$

式中S为“相去地里”，指的是某地与寻斯干（东经67度，北纬39度）在东西方向上的距离，以元朝的“里”为单位。如果某地和寻斯干在同一纬度圈上，它们之间的距离就是“相去地里”，如某地不在寻斯干的纬度圈上，如何度量“相去地里”呢？薄树



① 耶律楚材：《湛然居士文集》，见《丛书集成初编》。

人在《中国古代的恒星观测》一文中指出，耶律楚材当时知道如何找在同一经线上的不同位置。如此，不论对何城，他总可找到一个“如此城同经度”而与寻斯干“同一纬度的地方”。这样，地球上任何一点和寻斯干的“相去地里”均可度量。我们把开封作为中原地区的代表，计算它的里差改正量 $\Delta\lambda$。先计算与开封经度相同（东经 114 度）又与寻斯干纬度相同的一点（该点在山西灵丘附近）的“相去地里”，元制 1 里等于 1800 尺，若用元朝太史院表尺（1 尺为现在市尺 7 寸 4 分），则：

$$1\text{公里} = 2.252\text{元里}$$

$$S = 2\pi R \cdot \cos\psi \cdot 2.252 \cdot \frac{114-67}{360}$$

其中 R 为地球半径，$\psi = 39°$。

可算得开封的里差改正量

$$\Delta\lambda = 2 \cdot 10^{-4} \cdot S(\text{小时}) = 1.83\text{小时}$$

众所周知，如果在开封、寻斯干两地计量某一天文现象的发生（如冬至），由于两地经度实际相差 3 小时多，开封（冬至）的地方时应该是寻斯干（冬至）的地方时刻加 3 个小时；根据刚才开封里差改正量的计算，则是加上 1.83 小时。说明两者在符号上一致，但里差改正量在数量上小了三分之一多一些。这样看来，耶律楚材创立里差方法中的数字因子（十万分之四千三百五十九）并不很好。不过，在我们的计算中，无法使用耶律楚材当年所采用的开封与寻斯干的“相去地里”，而是用理论数字代替了，这可能会影响检验结果；尤其是耶律楚材当时由于历史条件的限制，他难以把大明历本身的误差和经度差引起的偏差很好分离，因此，从刚才的检验结果看，耶律楚材已经把经度不同所造成的天象预报中的系统误差消除掉大部分，可以说相当不错了。耶律楚材创立的“里差之法”在《庚午元历》中的应用，开创了后世天象预报中做经度改正的先例。在他之后，元朝的苏天爵（1294—1352）在《元朝名臣事略》一书中，记载了庚辰岁五月望月食观测，并对西域、中原看到月食的时刻不同做了解释：“盖大明之子正，中国之子正也，西域之初更，西域之初更也，西域之初更未尽时，焉知不为中国之子正乎？隔几万里之远，仅逾一时，复何疑哉……”明确区分了中原的时刻与西域的时刻，指出了中原子正和西域的初更未尽实质上可能是同一时刻，进一步明确了地方时的概念。



耶律楚材创立的“里差之法”，如当时就得到传播、发展和提高，完全可能在中原地区建立明确的地理经度概念，也不至于拖延到明末，才从西方引进“东西偏度”入历。为什么“里差”没有得到提高呢？原因在：①耶律楚材的《庚午元历》没有得到成吉思汗批准颁用，影响了“里差”概念的广泛传播。②郭守敬编《授时历》没有采用“里差”，使它没有跟随我们古历中这部最精良的历法传播开去。朱文鑫在《历



法通志》中说，里差之法"授时去而不用，因其中线不在首都也"，"然亦不知所以改之"。再者，郭守敬十分重视实测，他对里差定义中的数字因子没有进行实测验算，是不会下决心采用"里差"的。

（撰稿人：厉国青、林愿）

第三节 札马鲁丁

中华民族是个多民族的大家庭。这个大家庭中的各个兄弟民族都为我们伟大的祖国作出了自己的贡献。中国天文学的发展，回族同胞的历史贡献就是极为重要的。

回族主要是从13世纪宋元之际开始形成的。白寿彝主编的《中国通史纲要》中这样写道："那时候，波斯人和阿拉伯人到中国来的相当多。他们被称为回回，属于色目人的一种，成为构成回族的一部分来源。"[①]在这些早期来华的回回中，有不少知识分子。他们到中国定居，不但为中华民族增添了新鲜血液，而且把优秀的波斯、阿拉伯文化带到中国，为丰富我们祖国的文化作出了贡献。其中，天文学家札马鲁丁就是成绩卓著的一个。

一、札马鲁丁的生平

札马鲁丁这个名字是个译音。在元代的文献中就有不同的译法。《元秘书监志》译作札马剌丁或扎马剌丁。《元史・天文志》作扎马鲁丁。此处取《元史・历志》的译法，统作札马鲁丁。



札马鲁丁的早期历史迄今还不清楚。国外的研究者过去一般都认为他来自波斯的马拉加城（今属伊朗）。当时统治波斯等地的蒙古旭烈兀汗曾同意波斯天文学家纳速剌丁的请求，自1259年起聚集了一批天文学家在马拉加城建造一座天文台。人们认为，札马鲁丁就是这座著名天文台上的一位天文学家[②]。后来他奉旭烈兀或其后裔的命令来到中国。对于这个传统的说法，最近山田庆儿提出了不同的意见，他认为，上述说法和中国文献不合。他提出，札马鲁丁可能是中亚细亚的布哈拉城（今属乌兹别克斯坦共和国）人[③]。下面我们会看到，山田对传统说法的

① 白寿彝主编：《中国通史纲要》，上海人民出版社，1980年，第292页。

② 李约瑟著：《中国科学技术史》，科学出版社，1975年译本第四卷，第476页；薮内清：《中国的天文历法》，第203页。

③ 山田庆儿：《授时历的道》，第51～56页。山田庆儿在此只是否定札马鲁丁是马拉加天文台人的说法，但他并不否定马拉加天文台与中国的科学交流。

怀疑是有道理的。但至于是否确是布哈拉城人，由于波斯、阿拉伯方面的史料不足，我们只能期待于将来的发现。

按照中国的史料，札马鲁丁是在1260年元世祖忽必烈登位以前到中国的。《元史・百官志》记载：

> 世祖在潜邸时，有旨征回回为星学者。札马剌丁等以其艺进，未有官署。

忽必烈自1258年底起兵攻宋，在这以后他一直处于繁忙的军政事务当中。这个时期里不大可能产生如《百官志》所记载的那种事。即使札马鲁丁是在1258—1260年间来华的，那他也不大可能是马拉加天文台的人。因为这座天文台当时还刚刚在建造。按照《元史・世祖本纪》的记载，忽必烈在1244年的时候就曾招请四方学者，"问以治道"[①]。因此，札马鲁丁来华的时间也有可能早到13世纪40年代或50年代早期。

按上述《百官志》的记载，札马鲁丁来华后最初并没有正式的官职，从事了些什么工作也不清楚。可是后来，《元史・食货志》上有段记载说：

> 世祖中统二年(1261)……是年三月，又命札马喇丁籴粮，乃敕军、民官毋沮。

虽然波斯人叫札马鲁丁的不止一人，不过这位为元世祖服务的札马喇丁也很有可能就是那位来华的回回天文学家札马鲁丁。如果是这样的话，那么札马鲁丁还曾为忽必烈筹办过军粮。事实上，我们在后面可以看到，他的确曾从事过天文历法之外的工作。看来，札马鲁丁是一位才能广博的人。而在蒙古统治的早期，从民族地位来看，包括回回在内的色目人是待遇比较高的，得到蒙古族统治者较大的信任。因此，委派札马鲁丁担任极重要的筹军粮的工作，这也是非常可能的。



札马鲁丁所做的天文工作，最早见于至元四年(1267)。关于这一年的工作有两条记载：一是《元史・天文志》，记载说他造西域仪象7件；一是《元史・历志》，记载说他撰进万年历。这两项工作当然都不是短时期内所能完成的。因此可以推断，札马鲁丁应当在1267年以前就开始从事这两项重大的天文学工作了。

在这以后史籍记载札马鲁丁的活动如下：

至元八年(1271)，元世祖忽必烈建立回回司天台，札马鲁丁被任命为提点，即台长[②]。

至元十年(1273)，札马鲁丁以回回司天台提点的身份被任命为新设立不久的

---

① 《元史・世祖本纪》："岁甲辰，帝在潜邸，思大有为于天下，延藩府旧臣及四方文学之士，问以治道。"

② 《元史・世祖本纪》："(至元八年秋七月壬戌朔)设回回司天台宫属，以札马剌丁为提点。"



秘书监的两个长官之一(另一个是前户部尚书焦友直)。秘书监的主要职责是掌管皇家收藏的历代图籍和阴阳禁书,从事皇帝特命的撰述任务等。而司天台则在当时的意识形态下认为其事关机密,故也被划为秘书监管辖。司天台和秘书监的主管人往往是相兼的。札马鲁丁就是第一个。担任秘书监职务的人,一般都是皇帝比较信任的人。例如,札马鲁丁就曾到万寿山下的浴堂里向忽必烈奏事。如果不是十分信任,这是不可能的。

此后,札马鲁丁官阶日升。他当司天台提点时才是从五品①。而任秘书监时就一下升到从三品。几年之后被宣授嘉议大夫职衔,那就是正三品了。至元二十四年(1287)升到集贤大学士中奉大夫行秘书监事,成了从二品的大员。集贤大学士主管的集贤院职掌"提调学校,征求隐逸,召集贤良;凡国子监、玄门道教、阴阳祭祀、占卜祭遁之事"②都归它管理。作为一个回回人,让他管理与中国传统文化相关的一个最高机构,这的确是很不平常的事。

在这段时间里,札马鲁丁除了日常的天文业务、管理秘书监特别是关于回回阴阳文书(包括波斯、阿拉伯文的天文学、星占学等方面的图书)、器物等工作之外,还做了许多培养和提拔后进的工作。特别值得指出的是两项额外的工作。

一项工作完全与天文学无关。据《元史·百官志》记载,至元二十四年,"札马剌丁率人匠成造撒答剌欺,与丝细同局造作。"撒答剌欺是波斯的一种纺织品。札马鲁丁把波斯的纺织技术带到了中国。元政府为此"改练人匠提举司为撒答剌欺提举司。"

另一项则与天文学有一定的关系。那就是他在至元二十二年(1285)向忽必烈提出编纂全国地理图志的建议。它的最后成果就是后来著名的《元一统志》。这部书不但在当时有重大的军事、政治意义,而且也具有永久的学术价值。仅此一端,札马鲁丁对我国文化发展的贡献就已经是值得传颂的了。



早期的史书中关于札马鲁丁的最后记载是至元二十六年(1289)的事③。不过清代钱大昕修的《补元史艺文志》中却认为当至元二十八年(1291)元一统志完成时还是札马鲁丁和他的助手秘书少监虞应龙一起奏上的④。

---

① 元代官制共分九品等级,每品中又分正、从两级,总共十八个品级。

② 《元史·百官志》。

③ 《元秘书监志》卷第一:"至元二十六年有扎马剌(丁)奏奉薛禅皇帝圣旨,分付爱薛怯里马赤,这苫思丁根底与勾当者,钦此。"苫思丁也是回回人。早在至元二十二年札马鲁丁就向忽必烈引见、推荐过他。此人后来果然因他在天文学方面的特长而在司天监和秘书监担任了重要职务(至大三年以集贤大学士中奉大夫任秘书监兼提调回回司天台)。

④ 钱大昕:《补元史艺文志》:"大一统志,七百五十五卷",小注:"至元二十八年集贤大学士札马鲁丁、秘书少监虞应龙等进。"

此后，史籍上再无关于札马鲁丁的记载。我们可以推测，札马鲁丁大约在1289年或1291年以后不久即告去世。

二、关于七件西域仪象

《元史·天文志》上详细记载了这七件西域天文仪器的形制、结构和用途[①]。这七件是：

(1)咱秃哈剌吉。当时译为混天仪，实即是一种源于希腊的黄道浑仪，测黄经、黄纬用。

(2)咱秃朔八台。当时译为测验周天星曜之器。实即是一种托勒密式的长尺，测天顶距用。

(3)鲁哈麻亦渺凹只。当时译为春秋分晷影堂。这是一条沿赤道面放置的半圆弧环和一条贴着环面绕圆心可以转动的直尺。整个装置放在密室里，密室屋顶开有东西向的缝隙。只要半圆弧环放置得当，可以使缝隙中射进的日光只有在春、秋分时刚刚和弧环面相贴。挪动直尺，就可以测得春分、秋分时太阳的时角，因而测算得春、秋分的时刻。现在在印度德里古天文台上有一座巨型二分日晷，其原理及功用和春秋分晷影堂很相似。不过，远为巨大的印度仪器是露天建造的[②]。

(4)鲁哈麻亦木思塔余。当时译为冬夏至晷影堂。实际就是后来16世纪丹麦天文学家第谷造的墙象限仪。

(5)苦来亦撒麻。当时译为浑天图。实即现今一般的天球仪。

(6)苦来亦阿儿子。当时译为地理志。实即一具地球仪。

(7)兀速都儿剌不。当时译为定昼夜时刻之器。实即阿拉伯天文学家常用的星盘。



如前所述，据《元史·天文志》记载，这七件仪器是在至元四年(1267)造的。但是，鉴于这几件都不是短时期内能完成的仪器，因此，不应该理解成是在至元四年这一年里始造和完工的，而是应该理解成是在这一年始造或在这一年完工的。

《元史》卷一三四“爱薛传”中曾提到，忽必烈在中统四年(1263)曾命爱薛这位西域弗林来的天文、医药专家“掌西域星历、医药二司事”。山田庆儿因此提出，札马鲁丁的制西域仪象和编万年历，可能都是这个西域星历司活动的一个部分[③]。

山田的推测也许是对的。不过也有一些疑点：

---

① 关于这七件仪器的详细介绍和讨论可参阅中国天文学史整理研究小组编著：《中国天文学史》，科学出版社，1981年，第199～202页。

② 李约瑟著：《中国科学技术史》，科学出版社，1975年译本，第四卷，第296～299页。

③ 山田庆儿：《授时历的道》，第58页。



(1)《元史·百官志》说，至元八年“始置司天台”，而在这之前札马鲁丁是“未有官署”。《元史·世祖本纪》也说，是在至元八年“设回回司天台官属”。

(2)上述两条记载都未说到过西域星历司的存在。如果札马鲁丁与西域星历司有关的话，特别是在《百官志》中，应该会提到的。

(3)星历司是以爱薛为首的，回回司天台则是以札马鲁丁为首的，而爱薛后来又成为札马鲁丁在秘书监中的副手。一般说来，元政府同样是讲究资历的。不可能让一个单位的正、副手到另一个同样业务的机构里去担任地位颠倒过来的职务。

根据这些疑点来看，更可能的是，札马鲁丁并未在星历司工作过；甚至也有可能西域星历司并未单独存在过。当然，这些都是一种推测，问题的解决还有待新资料的发现。

这七件西域仪象中，天球仪与中国传统的浑象没什么本质差别(当然，上面画的星座是不同的)；冬夏至晷影堂的仪器本身和唐代僧一行的复矩图有依稀可比之处(两者都有一条仰放的占一象的圆弧环)；混天仪的外壳和传统的浑仪也是相似的。但是，除此之外，这些仪器和传统的仪器相比，在结构和功用方面都极不相同。

据李约瑟等人的研究，认为它们对后来中国的传统天文仪器的发展没有多大影响。李约瑟认为，这里的原因是“由于它们不适合中国天文学特有的体系——有天极，并使用赤道坐标。”[①]例如，托勒密式的黄道浑仪或长尺就很难使不采用黄道坐标系和一般天顶距的天文学家感到兴趣。李约瑟的分析是有一定道理的。比如，我们还可以举出另一个理由：与这些仪器的运用有关的数学知识、计算方法(如，三角学、欧氏几何学、球面三角学)等并没有在当时就大量译成汉文，因此，除了回回司天台上的工作人员外，传统的中国天文学家就很难使用这些仪器来进行工作。



不过，这些仪器既然已经在中国的天文台上安装，那么，不但在这个台上的中国天文学家将使用它们来从事观测，而且对这个台之外的传统的天文学家来说也一定会有某种启发和影响。照我们看来，当时的大天文学家郭守敬在发展传统的中国天文仪器时可能有两点是从札马鲁丁的仪器上借鉴来的。

其一是西域仪象的360度分划制度。郭守敬在他的简仪的时刻盘(他称为百刻环)上采用了一圆周分100刻，一刻分36分的制度。而在中国传统的时刻制度中从无把一刻分为36分的分法。郭守敬之所以做这样全新的分划，当是引入了西域仪象上的360度制的缘故。显然：

$$100\times36=3600=360\times10$$

① 李约瑟：《中国科学技术史》，科学出版社，1975年译本，第481页。

而引入的原因是360度分划比100刻分划容易精确。

其二是阿拉伯星盘上的窥衡。窥衡是一种观测用的照准器。这是一条长尺，尺两端各立一块小板，板上开圆孔。目光从一个圆孔穿过另一个圆孔，看到天体，则长尺的指向就是天体的方向。郭守敬的简仪里也是用的这种窥衡。而在传统的浑仪等观测器中却一直是用方柱体状的窥管。郭守敬使用窥衡，显然是符合他力求简化仪器的设计思想的。

三、万年历

《元史·历志》记载：

> 至元四年，西域札马鲁丁撰进万年历。世祖稍颁行之。

遗憾的是，这个“万年历”到底是一种什么样的历法，史书上没有留下一点点具体的资料。

《明史·历志》上说道：“万年历行之未久。”此说恐怕是未必然的。例如《元史·仁宗本纪》中提到，皇庆二年十二月辛酉，“可里马丁上所编万年历。”这是在札马鲁丁初上万年历之后46年的事，而且这大概也不会是万年历行用的最后一次。一个历法能行用几十年，这寿命也就不短了。

据《元秘书监志》记载，至元十五年(1278)，札马鲁丁在司天监的副手，司天少监可马剌丁，曾奉皇子安西王的命令，每年推算写造回回历两本。而在《元史·食货志》上则记有天历元年(1328)这一年皇家发卖的历日(即历书)数字，在总数3123185本历日中有5257本是回回历日。既然天历元年有卖，当然其他年份也是会有卖的。由此可见，在元代就有回回历颁行，而且是以“回回历”的名称发卖颁行的。这个回回历与札马鲁丁的万年历完全可能是同一回事。因为《元史·历志》中只说到万年历被“稍颁行之”。如果回回历与万年历是全然不同的两种历法，那么一般来说，《元史·历志》是应该另外提一下回回历的编算、进呈和颁行这件事的。



退一步来说，即使回回历和万年历是两种历法，那么，它们也不可能是截然不同的两种，而毋宁说它们是同一个系统中的两种。因为它们都是建立在阿拉伯天文学基础上的。而阿拉伯天文学中的宇宙体系主要是托勒密的地心说。历代的阿拉伯天文学家在天文数据的精确性上，在小轮个数的多寡及其运动特性上，在天体轨道有关的根数及其变化上自然是有许多发展、发明和改进的。但是，他们的计算系统都是运用几何学、三角学方法的小轮系统。这一点是并无改变的。另外，阿拉伯历法的形式特点，如采用纯阴历和纯阳历两套并存的系统，这一点也是很少变化的。因此，如果说万年历和回回历是两种历法的话，那么，它们之间在历法计算上也是不会相差很大的。



四、《元一统志》

《元一统志》当时称《大元大一统志》或《大一统志》。这是一部官方撰修的全国地理书。自至元二十二年起，到至元二十八年，成书七百五十五卷，由札马鲁丁及虞应龙等人进呈。稍后又得云南、甘肃、辽阳等地的图地，因又重修，由孛兰肹、岳铉等主事。到元成宗大德七年(1303)，成书一千三百卷。该书现已绝大部分佚失。鉴于该书的重大学术价值，前辈学者赵万里曾以20年的时间汇辑残存，于1966年出版了《元一统志》辑本两册。赵万里在序中指出，该书曾引用了大量宋、金、元时代的地方志。"此书存，则无数宋、金、元旧志俱随之而存；此书亡，则宋、金、元旧志亦随之而亡。此书学术上的重要性，于此可见一斑。"

然而，赵万里序中未提该书编纂经过；而在给辑本标名时又只标了最后进书的两位负责官员的名字。因此，现代的一般读者已不知道其中还有札马鲁丁的什么功绩。

其实，根据清钱大昕《补元史艺文志》和魏源《元史新编・艺文志》等书的记载，元代的《大一统志》有两个本子，即，至元二十八年(1291)由札马鲁丁等人进呈的七百五十五卷本，和大德七年(1303)由孛兰肹等人进呈的一千三百卷本[①]。查，元末曾据宰辅高位的学者许有壬曾于至正七年(1347)为《大一统志》写过一篇序。序中说到，当时元政府曾决定将此书的七百五十五卷本刻印，"以永于世"，为此才有旨命他作序之举。许有壬的序中明确指出，此本是由札马鲁丁创议修撰的。

正如赵万里所说，元代王士点的《元秘书监志》中记载有许多关于编撰《大一统志》经过的资料，根据这些资料我们可以清楚地了解到札马鲁丁在这项工作中的特殊作用。



(1)《元一统志》的确是札马鲁丁发起修撰的。至元二十二年六月二十五日中书省的一封公文中摘录了札马鲁丁的最初奏文：

> 太史院历法做有，大元本草做里。体例里有底，每一朝里自家地面里图子都收拾来把那的做文字来。圣旨里可怜见教秘书监家也做者。……奉旨圣，那般者，钦此。

当时，兵部为了掌握全国各地地理情况的需要，也提出要求各行省提供各郡邑的图志及各路、京、府、州、县的沿革。因此，当札马鲁丁的奏章批回到秘书监后，秘书监即提出，由翰林院和兵部"各差正官与本监一同商量编类。"此意见得到中书省的批准，于是，《元一统志》的工作就正式开始了。

---

① 钱、魏等人书中原作"一千卷"。赵万里据《元秘书监志》认为应作"一千三百卷"，今从之。

(2)在这项工作中，札马鲁丁极为重视地理图的绘制。他在上引创议做地理图志的奏章中说道：

> 但是路分里收拾那图子。但是画的路分野地、山林、里道立堠，每一件里希罕底。但是地生出来的，把那的做文字呵怎生？

至元二十三年三月初七日，他又上过一道奏章，其中说到：

> 如今日头出来处，日头没处，都是咱每的。有的图子有也者。那远的，他每怎生般哩会的回回图子？我根底有。都总做一个图子呵怎生？么道奏呵，那般者么道圣旨了也。

这段材料很重要。札马鲁丁在这里说到他掌握了许多回回地图。这些图是当时的汉人所看不懂的。他要把它们和原有的中国地图总做一个图子。从这个建议中可以看出，札马鲁丁把大量的西域地图带到了中国。这些地图大大地扩充了我国的地理知识；而且随之也引入了阿拉伯的地图制图法。这种制图法与中国传统的计里画方的方法是不相同的。因此，从中国地图学史乃至中国地理学史的角度来看，札马鲁丁的工作也是具有极大意义的。考虑到这一点，我们对《元一统志》的佚散就格外感到痛惜。

(3)札马鲁丁还曾为了推进编撰工作而积极荐举人才。例如，后来任秘书少监并与他一起联名进呈《大一统志》的虞应龙就是经他推荐，而从秀才的地位破格提拔上来的。

札马鲁丁为加快工作进程，曾多次尽力督促各方努力工作。甚至他还亲自过问为工作人员支请伙食费，以及对他们"从优升用"等具体的人事工作。

正因为札马鲁丁需要从事许多具体的学术和组织工作，而参加这项修撰任务的人绝大多数是汉人，所以秘书监专门请求中书省批准，给札马鲁丁配备一名翻译。仅此一端，就可想见他与《元一统志》的关系是何等之深了。



札马鲁丁是13世纪时大批来华定居的回回之一。这些回回和中国当地的居民结合，后来形成我国回族的一部分。

札马鲁丁作为一位天文学家，他把阿拉伯天文学知识带到了中国。他制造的阿拉伯天文仪器满足了我国建立回回司天台的需要，并对我国传统天文仪器的发展也有一定的借鉴作用。他编撰的《万年历》适应了我国各信奉伊斯兰教民族的生活需要，开创了后来300多年间我国政府编撰回回历的传统。他发起了修撰《元一统志》的工作，为我国方志地理学的发展作出了重要贡献。他不但为我国携来了一具阿拉伯的地球仪，而且还携来了大批阿拉伯地图，从而把阿拉伯的地图绘制法传入我国。

总之，札马鲁丁为我国科学文化的发展作出了巨大的贡献。作为我国回族的



一个先民，札马鲁丁在中国天文学史上和科学文化史上的功绩是值得纪念的。

（撰稿人：薄树人）

第四节 王 恂

一、生平简介

王恂（1235—1281），字敬甫，元代中山唐县（今河北保定）人，其父王良是金末时的地方官吏，于“天文律历无不精究”①。王恂自幼天资聪颖，3 岁即能识字，6 岁就读于私塾，“十三岁学《九数》，性与数会，辄造其极”②，从此毕生酷爱天算。15 岁时即随“天文、地理、律历、六壬、遁甲之属靡不精通”③的刘秉忠（1216—1274）学于磁州紫金山（今邢台以西）。其时郭守敬（1231—1316）也在此地师事刘秉忠。王恂因与郭守敬结为好友，相互切磋学问，在天算方面的造诣与日俱增，奠定了他们日后合作编制《授时历》的基础。1253 年，年仅 18 岁的王恂就被刘秉忠推荐给了忽必烈，任太子伴读。1260 年，忽必烈登汗位，第二年就提升王恂为太子赞善，王恂时年 25 岁。

1276 年，元军攻陷南宋国都临安（今浙江杭州），完全占领了江南地区，于是元世祖忽必烈决定采纳刘秉忠生前关于改革历法的建议（此时元朝仍沿用 1181 年金赵知微的重修大明历），设立专门天文机构——太史局，进行修订历法的工作。《元史·太宗本纪》称：“至元十三年（1276）六月，甲戌，以大明历浸差，命太子赞善王恂与江南日官置局更造新历，以枢密副使张易董其事，恂奏今之历家徒知历术，罕明历理，宜得耆儒如许衡者商定，诏衡赴京师。”1279 年，王恂、郭守敬联名上书忽必烈，提出重建司天台（即天文台）的建议，忽必烈采纳了他们的意见，决定改太史局为太史院，负责改历和修建大都司天台。太史院设太史令一人，总管院政，由王恂担任。其次有同知太史院事一人，由郭守敬担任，同佥太史院事一人，协助太史令管理院政，属员有主事、令译史、干事、库局各司员和推测星历诸生 70 人，分“推算”、“测验”、“漏刻”三个局进行工作。据元代学者杨桓《太史院铭》④，当时领导人员的分工如下：“以太子赞善臣王恂业精算术，凡日月盈缩迟疾，五星进退见伏，昏



① 《元史》卷一六四“王恂传”。
② 《元朝名臣事略》卷九“太史王文肃公”。
③ 《元朝名臣事略》卷九“太史王文肃公”。
④ 见《元文类》卷一七。

晓中星以应四时者，悉副其推演，寻迁太史令。以都水监臣郭守敬颖悟天运，妙于制度，凡仪象表漏，考日时、步星躔者，悉副规矩之，寻授同知太史（院）士，历成，迁太史令。以前中书左丞臣许衡为命事之贤，凡研究天道，斟酌损益者，悉副教领之；辅以集贤学士臣杨恭懿。其提挈纲维，始终弼成者，实前中书左丞转大司农官张文谦，寻以昭文馆大学士，领太史院事。"由此可见，王恂以太史令的身份，主持太史局（院）编制新历的工作，并以"业精算术"而负责历法的全部推算。同他合作编制新历的，还有郭守敬（主要负责仪器制造与天文观测）、许衡、杨恭懿、张文谦等人，自1276年至1280年，凡四历寒暑，新历修成，呈上朝廷，赐名《授时历》，乃取"敬授民时"之义。1281年正月初一起《授时历》在全国正式颁行。同年，王恂不幸病逝，终年46岁。他生前"资简重，不妄言笑，不乐靡丽，不喜音乐，其与人少许可，虽权贵未尝假以辞色，刚棱疾恶至负高气以忤之。"王恂死后，被追赠光禄大夫、大司徒、上柱国定国公等谥号。

二、《授时历》的主要成就

授时历是我国古代最精良的一部历法。它从1281年起颁行，至元末（1367）共施行了87年。明初，授时历原封不动，仅更名为"大统历"又被施行了17年（1368—1384）。尔后，明钦天监监正元统，对其稍加改变（去岁实消长之说，以洪武十七年即1384年天正冬至为历元等），基本天文数据和计算方法依然照旧，成《大统历法通轨》，自1385年至1644年共施行260年。这就是说，实际上授时历自元初至明末总共承用了364年。这是我国最后使用的一部中国系统的历法，在我国历法史上使用的时间也最长。



授时历的特点，有所谓"考正者七事"与"创法五事"[①]，即用自制的简仪、高表等先进观测仪器，凭实际观测，对冬至、岁余、日躔、月离、入交、二十八宿距度和日出入昼夜刻等历法上的重要天文数据做出的七项订正；以及根据这些实测的精度较高的天文数据，运用当时先进的数学方法，在历法的推算方面关于太阳盈缩、月行迟疾、黄赤道差、黄赤道内外度和白道交周所做的五项改革，后世称道"授时历以测验算术为宗，惟求合天，不牵合律吕卦爻。"[②]

授时历大胆地废除了行用千余年的"上元积年"和"日法"（历法中各天文数据的尾数以分数表示的分母部分），以颁历当年为历元，根据实测，确定其气应（冬至离甲子日夜半的时间）、闰应（冬至离十一月平朔的时间）、转应（冬至离月过近地点的时间）、交应（冬至离月过黄白道降交点的时间）等各项天文数据，作为历法推算

① 《明史·历志》。
② 《明史·历志》。



的依据；同时定日周为1000，周天为365度25分75秒（岁实365.2425天，岁差1分50秒），度以下分、秒以100进位。这样，大大简化了繁琐的计算，使授时历向近代天文学的计算方法靠近了一大步。

授时历的回归年长度365.2425日，与南宋杨忠辅的统天历（1199）相同，与现今世界上通用的公历——格里历（1582）的回归年长度值也一样。授时历的朔望月长度29.530593日，近点月长度27.5546日，交点月长度27.212224.日，则取自金赵知微的重修大明历（1181）和元初耶律楚材的西征庚午元历（1220），这些数据都是各种历法中最好的。授时历的黄赤交距测算结果23度90分30秒（折合今度23°33′33″.9），与近代天体力学公式计算而得的（23°31′58″.0），误差只有1′.6，精度是很高的，岁实消长，授时历接受了统天历的说法，而预计每百年减少0.0001天，虽比真值0.0000000614天大了不少，但误差较统天历为小。授时历这些优良的数据，一是靠精确的实际观测，二是靠仔细研究和比较古代几十种历法，参考其天文记录，取各家之长所得出来的结果。

授时历创造了一些先进的数学方法，使历法计算更为准确。这些数学方法主要有以下三项。

三、平立定三差术

授时历中的“平立定三差术”是一种高次招差法。招差法是我国数学史上具有世界意义的重大成就。授时历“创法五事”，“一曰太阳盈缩……依立招差求每日行分初末极差积度”，“二曰月行迟疾……依垛迭招差求得转分进退”，就是用三次差内插法计算太阳和月亮逐日运行的度数。

自北齐张子信（6世纪）根据长期的观测发现太阳运动的不均匀性之后，隋刘焯的皇极历（600）以太阳运动是匀加速的假设，创等间距二次差内插公式来计算太阳逐日所行的距离。唐一行的大衍历（727）在求太阳经引度数时，主张用“定气”计算，两个节气之间的时间间隔不是常量。因此，他在刘焯内插公式的基础上创自变量不等间距二次差内插公式，而且在计算月亮黄纬时，15度这一间隔内的近似公式中，已察觉到三次差的应用①。事实上，大衍历除“步交会术、月入阴阳历表”的四差为零外，“步五星、爻象历表”的四差亦为零。唐边冈的崇玄历（892）“步晷漏”对每日午中晷影长度的测算其四差也为零，北宋史序的仪天历（1001）、宋行古的崇天历（1024）仿此，都使用了等间距三次差内插公式（一次项系数为零的特殊形



① 严敦杰：《中国古代数理天文学的特点》，《科技史文集》第1辑，上海科技出版社，1978年。

式)[1]。日躔表中四差为零的首见于北宋姚舜辅的纪元历(1106),其后南宋杨忠辅的统天历(1199)、鲍澣之的开禧历(1207)、陈鼎的成天历(1270)也都载有四差为零的日躔表,而金赵知微的重修大明历(1180)又在"步晷漏"的二十四气陟降及日出分表中使用了三次差内插法。[2] 授时历则把三次差的方法普遍使用于日月五星的各种计算中去。

下面我们以太阳从冬至到春分的 88 日 91 刻内,运行了一个象限(91.31 度,一周天按 365.25 度计算),从而"盈积"了 91.31－88.91≐2.40 度为例,概略说明一下授时历推算太阳逐日运行度数的"平立定三差术"。

分 88.91 日成 6 段,每段各为 14.82 日。通过实际观测太阳在每段端点("积日")上的实际运行度数,减去按每日平均运行 1 度的平行度数,算出在各积日点上积累下来的差数("积差"),并计算积差的各级差分列出表格(见表 6－4,1 日万分),发现其三差 Δ^3 均相等而四差 Δ^4 均为零,可知积差是积日的三次函数,设其为:

$$f(x) = ax + bx^2 + cx^3$$

表 6－4　积差表

	积日	积差	一差(Δ)	二差(Δ²)	三差(Δ³)	四差(Δ⁴)
初段	0	0				
			7058.0250			
第一段	14.82	7058.0250		－1139.6580		
			5918.3670		－61.3548	
第二段	29.64	12976.3920		－1201.0128		0
			4717.3542		－61.3548	
第三段	44.46	17693.7462		－1262.3676		0
			3454.9866		－61.3548	
第四段	59.28	21148.7328		－1323.7224		0
			2131.2642		－61.3548	
第五段	74.10	23279.9970		－1385.0772		
			746.1870			
第六段	88.92	24026.1840				

① 陈美东:《崇玄、仪天、崇天三历晷长计算法及三次差内插法的应用》,《自然科学史研究》,1985 年第 3 期。

② 严敦杰:《宋金元历法中的数学知识》,载《宋元数学史论文集》,科学出版社,1966 年。



因 $f(0)=0$，故无常数项。

然后，以积日 x 除积差 $f(x)$，得"日平差"

$$F(x) = a + bx + cx^2$$

其各积差分列出表格(表 6—5)。

表 6—5 积 差 表

	日平差	一差(Δ)	二差(Δ^2)	三差(Δ^3)
初段	513.32			
		−37.07		
第一段	476.25		−1.38	
		−38.45		0
第二段	437.80		−1.38	
		−39.83		0
第三段	397.97		−1.38	
		−41.21		0
第四段	365.76		−1.38	
		−42.59		0
第五段	314.17		−1.38	
		−43.97		
第六段	270.20			

自然二差 Δ^2 均相等而三差 Δ^3 均等于零。据表中初段即冬至当时的数据，依二次差内插公式，可得冬至后 x 日的日平差

$$F(x)=513\cdot 32+\frac{x}{14.82}(-37.07)+$$

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{x}{14.82}\left(\frac{x}{14.82}-1\right)(-1.38)$$

$$=513.32-2.46x-0.0031x^2$$



从而，x 日的积差为

$$f(x) = 513.32x - 2.46x^2 - 0.0031x^3$$

式中三系数即为前设 $f(x)=ax+bx^2+cx^3$ 中的 a、b、c。授时历分别称它们为"定差"、"平差"和"立差"。当 x 逐日取 1、2、3、4、…等数值代入此式时，三差 a、b、c 各按 1、2、3、4、…；1^2、2^2、3^2、4^2、…；1^3、2^3、3^3、4^3、…的倍数增加。即

$f(0)=0$

$f(1)=a+b+c$

$f(2)=2a+4b+8c$

$f(3)=3a+9b+27c$

$f(4)=4a+16b+64c$

……

据此可列出逐日积差和它的各级差分表格(表 6—6)。

表 6—6 积差表

	积差 $f(n)$	一差(Δ)	二差(Δ^2)	三差(Δ^3)	四差(Δ^4)
初日(0)	0				
		510.8569			
第一日(1)	510.8569		−4.9386		
		505.9183		−0.0186	
第二日(2)	1016.7752		−4.9572		0
		500.9611		−0.0186	
第三日(3)	1517.7363		−4.9758		…
		495.9853		…	
第四日(4)	2013.7216		…		
…	…				

表中冬至当时积差的一差、二差、三差(授时历称为“加分”、“平立合差”、“加分立差”)分别为

$$\Delta(0)=f(1)-f(0)=a+b+c=510.8569$$

$$\Delta^2(0)=\Delta(1)-\Delta(0)=f(2)-f(1)-\Delta(0)$$
$$=2b+6c=-4.9386$$

$$\Delta^3(0)=\Delta^2(1)-\Delta^2(0)$$
$$=\Delta(2)-\Delta(1)-\Delta^2(0)$$
$$=f(3)-2f(2)+f(1)-\Delta^2(0)$$
$$=6c=-0.0186$$

表中以下各日积差和它的一、二、三差数字只须据此按招差原则用加减法便可一一填写出来。

现在我们再举例说明授时历步气朔术中对招差法的运用。

元陶宗仪《辍耕录》卷五载有“至元三十一年(1294)甲午岁节气”。今以授时历数据核算之。

《元史·历志》“授时历经”载:

至元十八年,岁次辛巳为元。





日周一万。岁实三百六十五万二千四百二十五分，消长百年各一。

朔实二十九万五千三百五分九十三秒。

转终分二十七万五千五百四十六秒。

气应五十五万六百分。

闰应二十万一千八百五十分。

转应一十三万一千九百四分。

于是，一节气$=\frac{365.2425}{24}$日$=15.2184375$日，而

$$365.2425-[60]r=5.2425$$
$$365.2425-[29.530593]r=10.875384$$
$$365.2425-[27.5546]r=7.0327$$

故至元十七年后 t 年，其

$$\text{冬至干支}=55.0600+(5.2425-10^{-6}t)t-[60]r$$
$$\text{冬至月龄}=20.1850+10.875384t-[29.530593]r$$
$$\text{冬至近地点日}=13.1904+7.0327t-[27.5546]r$$

代入至元三十年之 $t=13$，略去 $10^{-6}t^2$，得

$$\text{冬至干支}=3.2125(\text{丁卯})$$
$$\text{冬至月龄}=13.9120$$
$$\text{冬至近地点日}=21.9517$$

十一月平朔干支＝冬至干支－冬至月龄＝49.3005(癸丑)

十一月朔平近地点日＝冬至近地点日＋近点月日－冬至月龄＝35.5943

于是，至元三十一年，其

$$\text{立春干支}=3.2125+3\times15.2184375-[60]r=48.8678(\text{壬子})$$
$$\text{惊蛰干支}=48.8678+2\times15.2184375-[60]r=19.3046(\text{癸未})$$
$$\text{清明干支}=19.3046+2\times15.2184375-[60]r=49.7415(\text{癸丑})$$

以下从略，其结果与《辍耕录》卷五所载节气干支都合。

至于定朔计算，则要考虑太阳和月亮运动不规律性的改正数据。用平立定三差术。

$$\text{正月平朔干支}=49.3005+2\times29.530593-[60]r=48.3617(\text{壬子})$$

$$\text{天正经朔入缩历}=\frac{365.2425}{2}-13.9120=168.70925$$

$$\text{正月经朔入缩历}=168.70925+2\times29.530593-\frac{365.2425}{2}=45.149186$$

在盈初缩末限内，“置立差三十一，以初末限乘之，加平差二万四千六百，又以初末限乘之，用减定差五百一十三万三千二百，余再以初末限乘之，满亿为度，不满退除



为分秒”，即所求盈差，当为

$$盈差=5133200\times45.149186-24600\times45.149186^2-31\times45.149186^3\times10^{-8}$$
$$=1.7876$$

$$正月朔近地点日=35.5943+2\times1.975993=39.546286$$
$$39.546286\times12.20=482.4646892$$
$$482.4646892-[168]r=146.4646892$$
$$168-146.4646892=21.5353108$$

然后，“置立差三百二十五，以初末限乘之，加平差二万八千一百，又以初末限乘之，用减定差一千一百一十一万，余再以初末限乘之，满亿为度，不满退除为分秒，即迟疾差”，当为

$$疾差=11110000\times21.4646892-28100\times21.4646892^2-325\times21.4646892^3\times10^{-8}$$
$$=2.2231$$

$$\frac{(2.2231-1.7876)\times820}{1.1269\times10^4}=0.0137(减差)$$

故至元三十一年正月定朔干支=48.3617−0.0317=48.3300(壬子)。
求得正月壬子朔。仿此，可得以下各月朔日干支。

授时历中的三次招差术在数学史上也具有重大意义。李善兰指出：“授时术中法号最密，其平立定三差，学算者皆推为创获。”①授时历颁行之后不久，朱世杰《四元玉鉴》(1303)“如象招数”从理论上进一步指出了招差公式中各项系数恰好依次是各三角垛积，从而把授时历的招差术推进到更为一般和更加完善的地步。在欧洲，首先对招差术加以说明的是17世纪的格利高里(J. Gregory，1670)，在牛顿(I. Newton)的著作中(1676)才出现了招差术的普遍公式。

四、割圆求矢术

在中国数学史上，高次方程的数值解法在宋元时期取得了卓越的成就。授时历则把它立即应用于历法计算中，见于“割圆求矢术”。

天球上春分点 A、夏至点 D、黄道象限弧 $\overset{\frown}{AD}$、赤道象限弧 $\overset{\frown}{AE}$ 和“黄赤大距” $\overset{\frown}{ED}$ 如图6−4所示。若太阳行至 B 点，则“黄道积度”(黄经余弧)为 $\overset{\frown}{BD}$，“赤道积度”(赤经余弧)为 $\overset{\frown}{CE}$，“赤道内外度”(赤纬)为 $\overset{\frown}{CB}$。授时历求“黄赤大矩” $\overset{\frown}{ED}$ 上的矢 EK 时，采用沈括“会圆术”②公式：

---

① 李善兰：《则古昔斋算学》，“麟德术解”。

② 见《梦溪笔谈》卷一八。



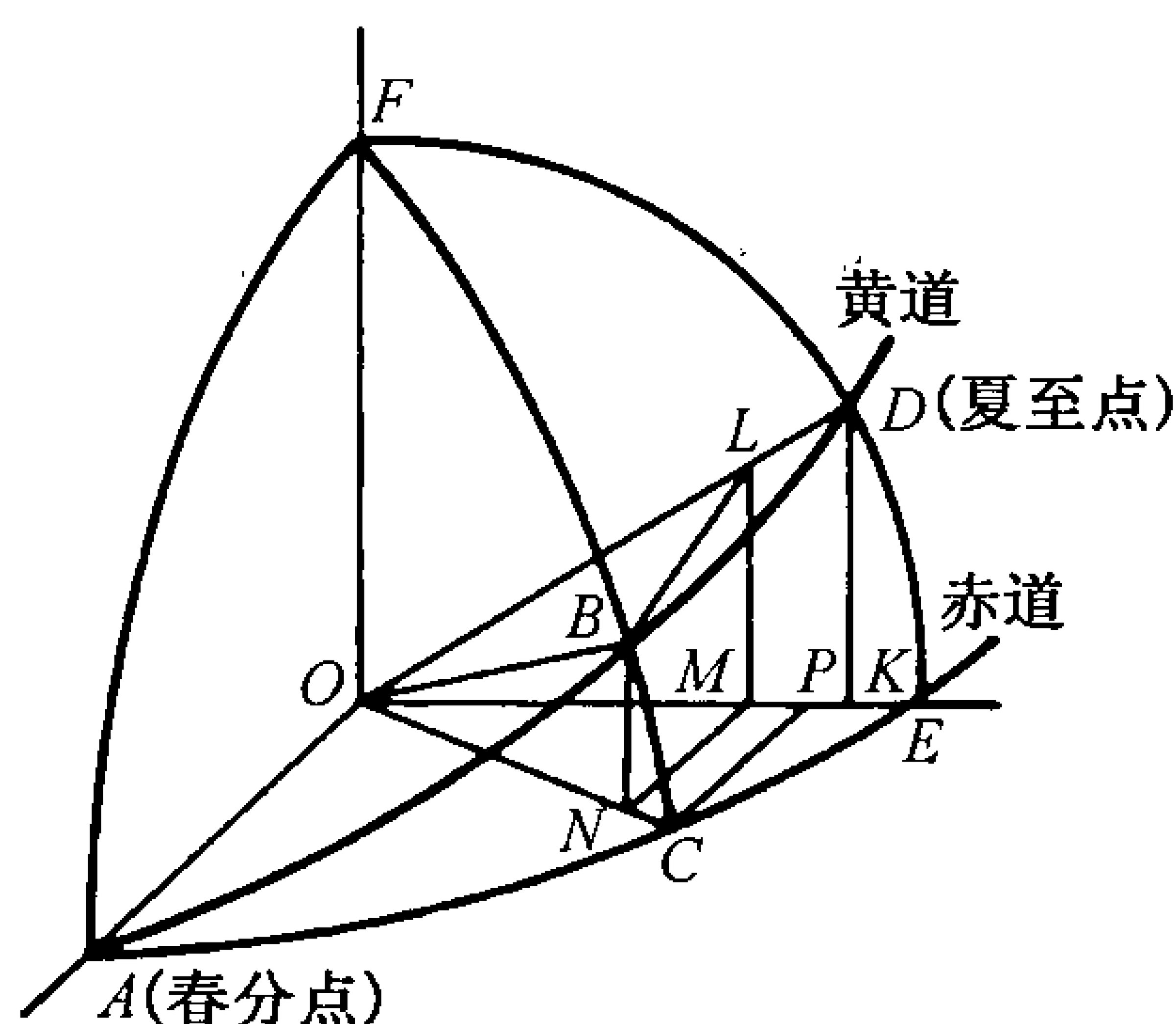


图 6－4 弧矢割圆与割圆求矢图

$$p=\sqrt{x^2-(r-x)^2}=\sqrt{lx-x^2}$$

$$s=p+\frac{x}{l^2}$$

内 $\widehat{DE}=s$，周天径$=l$，半径$=r$，矢 $EK=x$，$DK=p$。从上二式中消去 p，得

$$x^4+(l^2-2ls)x^2-l^3x+l^2s^2=0$$

这是一个四次方程。授时历称系数 l^2、$2ls$、l^3、l^2s^2 分别为上廉、下廉、益从方、正实。然后从高位到低位逐位求正根的不足近似值。

> 以初商(x_1)乘上廉，得数以减益从方，余为从方($l^3-l^2x_1$)。置初商自之，以减下廉，余以初商乘之，为从廉[$(2ls-x_1^2)x_1$]。从方、从廉相并，为下法[$(l^3-l^2x_1)+(2ls-x_1^2)x_1$]。下法乘初商，以减正实{$l^2s^2-[(l^3-l^2x_1)]+(2ls-x_1^2)x_1]x_1=x_1^4+(l^2-2ls)x_1^3-l^3x_1+l^2s^2$，得余实。若余实为 0，则 $x=x_1$，即为所求方程的根}。实不足减(即余实为负数)，改初商(把 x_1 改小)。实有不尽(即余实为正数)，次第商除之(以余实代正实，再解原方程)。
>
> 倍初商(x_1)数，与次商(x_2)相并，以乘上廉，得数以减益从方，余为从方[$l^3-l^2(2x_1+x_2)$]。并初商次商而自之，又以初商自之，并二数以减下廉，余以初商倍数并次商乘之，为从廉〔$\{2ls-[(x_1+x_1)^2+x_1^2]\}(2x_1+x_2)$〕。从方、从廉相并，为下法〔$l^3-l^2(2x_1+x_2)+\{2ls-[(x_1+x_2)^2+x_1^2]\}(2x_1+x_2)$〕。下法乘次商，以减余实，而定次商〔$x_1^4+(l^2-2ls)x_1^3-l^3x_1+l^2s^2-〔l^3-l^2(2x_1+x_2)+\{2ls-[(x_1+x_2)^2+x_1^2]\}(2x_1+x_2)〕x_2=(x_1+x_2)^4+(l^2-2ls)(x_1+x_2)^3-l^3(x_1+x_2)+l^2s^2$，若为 0，则($x_1+x_2$)为原方程的根；若小于 0，改次商；若大于 0，即“有不尽者，如法商之。皆以商得数为矢度之数”〕。



这便是授时历中四次方程的数值解法。据此可解出原方程的根为 $x=4.8482$ 度。《明史·历志》中还以“半弧背一度求矢度”为例具体解方程 $x^4+(14823.625-243.5)x^2-1804707.859375x+14823.625=0$ 得近似根 $x=0.0082$度。

五、弧矢割圆术

如上所述，授时历在代数方面采用了高次招差术和高次方程数值解法。其“创法五事”中的前两事“太阳盈缩”和“月行迟疾”便是用高次招差法入算。至于其后三事“黄赤逆差”、“黄赤道内外度”和“白道交周”即有关黄、赤、白三道的计算问题，则使用了球面几何法——“弧矢割圆术”。它的数学意义在于开辟了通往球面三角法的途径。

以已知“黄道积度”$\widehat{BD}$求“赤道内外度”$\widehat{BC}$ 为例。如图 6－4 所示，作 $BL\perp OD$，根据会圆术并应用上述求解四次方程的方法，可求得 $\widehat{BD}$ 之矢 $LD(v_1)$，$\widehat{BD}$ 之半弦 $LB(p_1)$，$\widehat{BD}$ 之余弦 $OL(q_1)$。又作 $LM\perp OE$，$BN\perp OC$，连结 MN，则 $MN=LB=p'$。如设 $\widehat{BC}$ 之矢 $NC=v_2$，$\widehat{BC}$ 之半弦 $NB=p_2$，$\widehat{BC}$ 之余弦 $ON=q_2$。则因 Rt. $\triangle OML\backsim\triangle OKD$，可得

$$p_2=\frac{q_1 p}{r} \tag{1}$$

$$OM=\frac{q_1 p}{r}$$

$$q_2=\sqrt{\left(\frac{q_1 p}{r}\right)^2+p_1^2}$$

$$v_2=r-q_2'$$

由 $\widehat{BC}$ 之矢 v_2 和半径 p_2，依会圆术即可求得赤道内外度

$$\widehat{BC}=p_2+\frac{v_2^2}{l}$$

至于求赤道积度 $\widehat{CE}$，方法与上类同。作 $CP\perp OE$，因 Rt. $\triangle OPC\backsim\triangle OMN$，如设 $\widehat{CE}$ 之矢 $PE=v_3$，$\widehat{CE}$ 之半弦 $PC=p_3$，$\widehat{CE}$ 之余弦 $OP=q_3$，则有

$$p_3=\frac{rp_1}{\sqrt{\left(\frac{q_1 q}{r}\right)^2+p_1^2}} \tag{2}$$

$$q_3=\frac{q_1 q}{\sqrt{\left(\frac{q_1 q}{r}\right)^2+p_1^2}} \tag{3}$$

$$v_3=r-q_3$$

由 v_3、p_3，根据会圆术即可求得赤道积度



$$\widehat{CE} = p_3 + \frac{v_3^2}{l}$$

授时历的这种“弧矢割圆术”与球面三角中解直角三角形的方法很接近。若设黄经 $\widehat{AB}=c$,赤经 $\widehat{AC}=b$,赤纬 $\widehat{CB}=a$,黄赤交角 $\angle EOD=\alpha$。则(1)、(2)、(3)式分别相当于球面三角公式

$$\sin a = \sin c \sin\alpha$$

$$\cos b = \frac{\cos c}{\sqrt{\sin^2 c\ \cos^2\alpha + \cos^2 c}}$$

$$\sin b = \frac{\sin c\ \cos\alpha}{\sqrt{\sin^2 c\ \cos^2\alpha + \cos^2 c}}$$

古希腊很早就用球面三角来解决天文学方面的计算问题,其后印度和阿拉伯的数学家对球面三角学也作出了很大的贡献。然而,由于中国传统数学中没有角的概念,也没有三角函数的概念,所以中国古代的历法计算多用代数方法,特别是内插法。授时历引入了新的球面几何方法,这是首创;但不能说这就是球面三角法。事实上,我国在天文计算方面对球面三角法的全面应用,一直推迟到了 17 世纪初,即西方数学输入之后的《崇祯历书》中。

授时历自 1276 年开始编制,至 1280 年完成,于 1281 年正式使用。它是当时优秀的天文学家兼数学家王恂、郭守敬、许衡、杨恭懿、张文谦等人的集体创作。但作为太史局(院)长官的王恂是主要的领导人和组织者,出力居多的是他和郭守敬俩人。他们之间的具体分工,王恂因“早已算术妙天下”,“既以算术冠一时,故以委之”,被“命教领改历事”[①],负责历法推算;而郭守敬则是负责天文测量和制造仪器。1281 年授时历颁行不久王恂即不幸病故。当时授时历的推步法则和各种表格都还没有最后定稿,大量的整理、总结工作是由郭守敬完成的。他“比次篇类,整齐分秒,裁为《推步》七卷,《立成》二卷,《历议拟稿》三卷”[②]。1286 年郭守敬继任太史令时又写成《时候笺注》、《修改源流》以及天文测量方面的著作多种。由于郭守敬自始至终参与了授时历的编制,并且最后的工作又主要是他完成的,因而人们经常在授时历前冠以郭守敬的名字。其实,就授时历的“测”、“算”两个主要部分而论,特别是在“算”的方面,王恂功不可没。王恂以数学名家的身份领导编制历法的工作,又承担了推步计算的任务。授时历中的数学成就应该主要归属于他。



(撰稿人:王渝生)

① 《元史》卷一六四“王恂传”。

② 齐履谦:《知太史院事郭公行状》,载《元文类》卷五〇。

第五节 郭守敬

郭守敬(1231—1316),号若思,蒙古窝阔台(1186—1241)三年(1231)生于邢州邢台县(今河北邢台),是具有多种特长的科技专家。他长成时,已是成吉思汗之孙蒙哥(1208—1259)为汗,其弟忽必烈(1215—1294)统治中国北方的时代了。忽必烈称帝的中统元年(1260),郭守敬以而立之年应邀出任其老友并前辈任左丞兼大名、彰德两路宣抚使张文谦的随员,留意于农田水利,并曾鼓铸漏壶。从这时起,除了他少年时期的天文爱好活动外,一直到元成宗大德二年(1298)他 68 岁时制水运浑天漏为止,38 年中,他在农田水利工程、河工工程、地形测量、仪器制造、天体测量、实用天文测量、数学理论、历法制定、机械制造、水力机械、时钟制作等许多方面都作出了巨大的成绩。他毕生从事科学技术事业,编著大量有关著作,其中,差不多有一半时间和精力专心于天文历法工作。他先后担任都水少监、都水监、工部郎中、同知太史院事、太史令等职。元世祖至元三十一年(1294),升任昭文馆大学士的荣誉职并知太史院事,元仁宗延祐三年(1316),以 86 岁的高龄谢世,归葬于邢台。



图 6—5 郭守敬像

一、计时仪器与水力传动机械的连续制作

宋代燕肃在仁宗天圣九年(1031)创制了莲花漏。郭守敬在少年时期曾得到莲花漏铭记碑文的拓片,就精心钻研其原理,无师自通。在大名、彰德工作时,借助于张文谦的职司和交谊,他便铸造了一套在金元之间长期混乱中早已失传的莲花漏。中统三年(1262),郭守敬到开平府入觐忽必烈,他将莲花漏改名宝山漏报呈朝廷,恢复了宋金以来的刻漏计时的制度。从此开始,他正式入任水利官职达 14 年之久,然而他却是以上呈天文仪器为他一生事业的起点。

至元十三年(1276)元廷为了制定新历,郭守敬转入有别于原司天台的新机构太史局。这才真正投入了他的天文历法工作,这时他已 46 岁了。在创制了大量划时代之举的新天文仪器,制定授时历也告结束之时,正逢世祖朝末年,郭守敬已届花甲年华。可是他壮心未已,没有忘记他的创造中还有缺门。他又回到 30 多年前深感兴趣的守时仪器方面来了。于是,郭守敬更上一层楼,制造了一座七宝灯漏,



悬挂于皇宫正殿大明殿，亦称大明殿灯漏。数年后，等到通惠河开设完成，复在成宗大德二年(1298)制成灵台水浑运浑天漏[①]一座。

这两座计时仪器，可说是宋苏颂水运仪象台的再现和改进。它们同样都是水力传动的。前者“其机发隐于柜中，以水激之”[②]，后者顾名思义以水力为原动力。水运仪象台各层木人出而报时初、时正与百刻，打击乐器并报夜漏更筹。而这两座仪器的表达内容和机制又有所超胜于苏颂、韩公廉之所作，具体表现在：

(1)大明殿灯漏最高一层能表演日月星辰的周日运动。

(2)第三层所设龙、虎、鸟、龟之象，不是单纯地转动出报时刻，而是能按刻分别跳跃铙鸣呼应，一望便知。

(3)十二时辰初正各有四刻，底层四角木人，分别用钟、鼓、钲、铙四种不同乐器的声音来报道第一刻至第四刻，听声便知是何刻。

(4)水运浑天漏的浑象机动装置，上络黄道与白道二环。太阳与月亮的位置并不是像古代那样须用手拨动，而是“各依行度，退而右转”，能自动调节其位置。

苏颂的制作，至南宋已湮没而不复可考。宋高宗曾“召苏颂子携取颂遗书，考质旧法，而携亦不能通也”，“书虽在……而其尺寸多不载，是以难遽复云。”而后来，“朱熹家有浑仪，颇考水运制度，卒不可得。”[③]一代名家的朱熹想搞而毫无结果的水力传动仪器，一个多世纪以后的郭守敬终于再次制作成功，并比韩公廉更有改进，增添了新的内容。另外，他还别具匠心制造了柜香漏、屏风香漏和行漏等几种特殊的计时器，无怪乎张文谦称许他为“巧思绝人”了[④]。

二、各种天文仪器的大规模制造



郭守敬奉命与王恂共同制定新历，一开始他就提出一条基本方针，即“历之本在于测验，而测验之器莫先仪表”。于是他从改造圭表和浑仪着手，从至元十三年到至元二十六年，先后持续设计和制成了大批天文仪器，共13件。

最为脍炙人口的要算简仪了。简仪已有不少人做过研究，总的说来，郭守敬将环圈密布的浑仪拆散，简化分解为一具赤道仪和一具经纬仪(图6－6)。仪器可由两个人同时操作，分别按赤道坐标系和地平坐标系进行测量。科学史界公认它是世界上最早的赤道仪，比欧洲的第谷(Tycha Bnahe)所制的赤道仪要早319年。这座简仪对古典测天仪器在技术上所做的改进，还有以下几项突出的方面：

---

① “水浑运浑天漏”一词颇费解，疑第二字或衍，而系“水运浑天漏”。

② 《元史·天文志》。

③ 《宋史·天文志》。

④ 齐履谦撰郭守敬的《行状》。

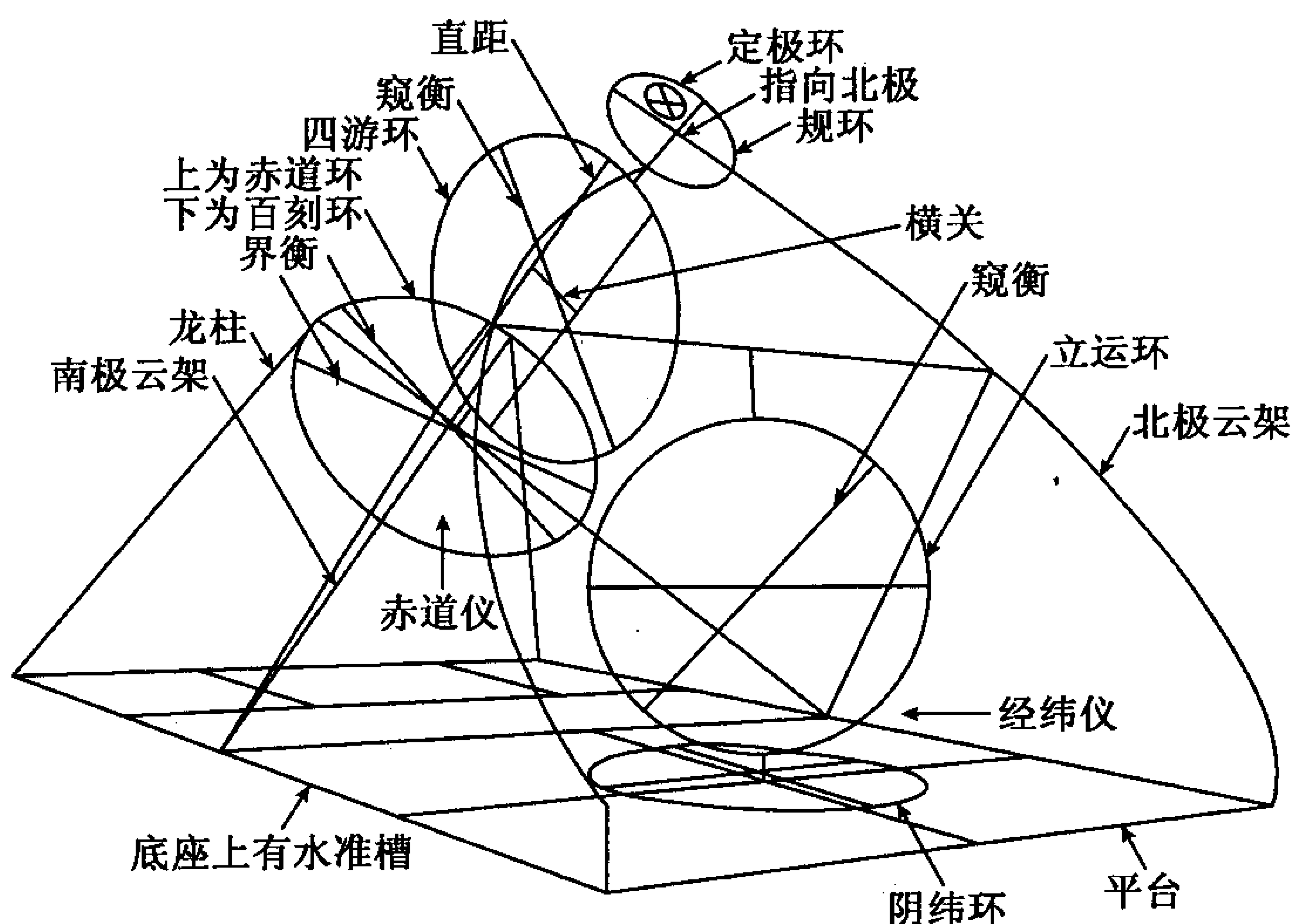


图 6—6　简仪的结构

(1)简仪的赤道环直径 6 尺,叠在直径 6.4 尺的百刻环的缺口上,两者之间,当年还平卧四个"圆轴",使难于挪移的大铜环转动灵活便于操作。从其功能看,这应是近代滚筒轴承的滥觞。理论上,滑动摩擦力的大小只决定于赤道环的重量和材料的性质,同接触面大小无关。实际上在长达 4.5 米的叠压界面上,只要长些铜绿,那重达 47 千克的赤道环[①],用双手转动时,其"涩滞"[②]是可想而知的。一转变为滚动摩擦,自然轻易得多了。这可说是一项划时代的创造。

(2)我国古代的浑仪,刻度均以度为单位。尽管到了宋代计算早已采用百分制,但观测则仅发展到度以下约为少、半、太,即四分之一度[③]。仪器上的刻度,仍然以度为单位,观测精度相当低。郭守敬所制仪器,度以下分为 10 格,每格 10 分,可以约计到 5 分;计量精度就大为提高。在赤道环上,二十八宿距度即如此镌刻,全数 365 度以外,余数 0.25 度也表达出来了。百刻环上,则每刻作 36 分,百刻共 3600 分,这同 365.25 度共刻 3652 格半,每格间距两者大抵相仿。以赤道环而论,按传世明代仿制简仪外径 145.8 厘米计算,则环边每度为 12.54 毫米。现用卡尺逐度量取女宿的 11.3 度,得 141.74 厘米,平均每度亦为 12.54 毫米。若按《元史》

① 这是按《元史·天文志》所列尺寸计算的。

② 《元史·天文志》"简仪"。

③ 例如推行淳熙历时,据李继宗计算,四年六月戊寅,"木星在氐宿三度四十一分",而观测者孟邦杰称:"木星在氐宿三度太,太系七十五分。"见《宋史·律历志十五》。



"十一度三十五分"计，则为12.49毫米，相差0.05毫米[①]。将这11.3度分别计量其每一度的刻度与平均数的差数，则得刻度的平均偏差为$\bar{x}=0.48$毫米，平均偏差的标准差$\sigma=0.31$毫米。这表明每度刻度的误差平均半毫米左右，大多数误差在1毫米以下。全宿宿度的刻划是很准确的。当然，仿制品的水平并不能代表郭守敬的制仪水平。但从《利玛窦日记》所描述的原件比仿制品更为精致来推度，则原仪想必不会比这粗糙的(图6—7)。

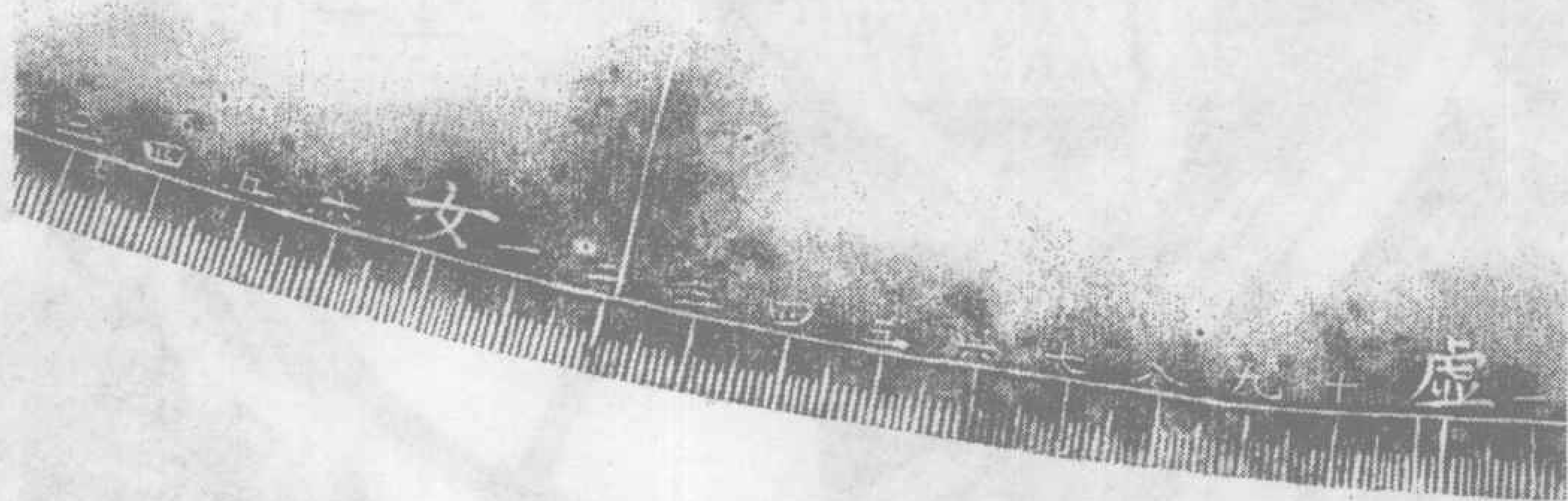


图6—7　明仿元制简仪赤道环刻度(拓片)

(3)古典浑仪，观测天体用望筒，亦称玉衡、横箫或窥管。它是一根方管，铜制，两端有圆孔。圆径或为7分半，或为1寸，即1.80厘米或2.45厘米。倘在简仪四游环上仍安设窥管，其长应为5.94尺，若使人眼贴近下孔，则上孔的视野约当43′.5或58′。这样，太阳本体正好出现在孔中，因它的视直径最大值为32′.53。但观测星星时就不方便了，它只是一个光点，而且在望筒视野中移动得相当快。要凭肉眼估量它处于视野中心，颇不容易，观测结果易生差误。郭守敬改用扁钢式的窥衡，两端立横耳，中开小孔，结线作瞄准的依据。窥衡两顶头还做成圭尖状，所指度分就较准确。同样道理，赤道环设有两道界衡，两头亦呈圭尖状，亦结线对准天体进行测量，所得结果自然都要精密得多(图6—8)。

(4)元初，北极纽星离开天极已有2.71度。用极星来标定北极位置已有相当难度，因为这段距离差不多有5个多月亮排在一起那样长。郭守敬在简仪顶端设计了一个定极环，以纽星去极3度计，取直径6度，使极星刚好在环内每日周游一圈。环圈中间的十字交叉杆件，交点中心有个直径5厘(即1.2毫米)的小孔。安装简仪时，须使这小孔位于南北极轴线上端。同样地，在百刻环环内十字交叉杆件的中心下，装有一块铜板，板中部削薄后，中心亦开一小孔，直径为1分，使其位于南北极轴线的下端。两孔连线即南北极轴线。对准天球北极处时，极星就在定极环内周游一圈。这是控制简仪准确位置并可随时进行校正的一项特殊结构。

(5)简仪南部一片铜制平台上，装有一座正方案。用正方案可测定南北东西的

① 亦可将两数均作为12.5毫米，因为以百分之一毫米计是没有意义的。

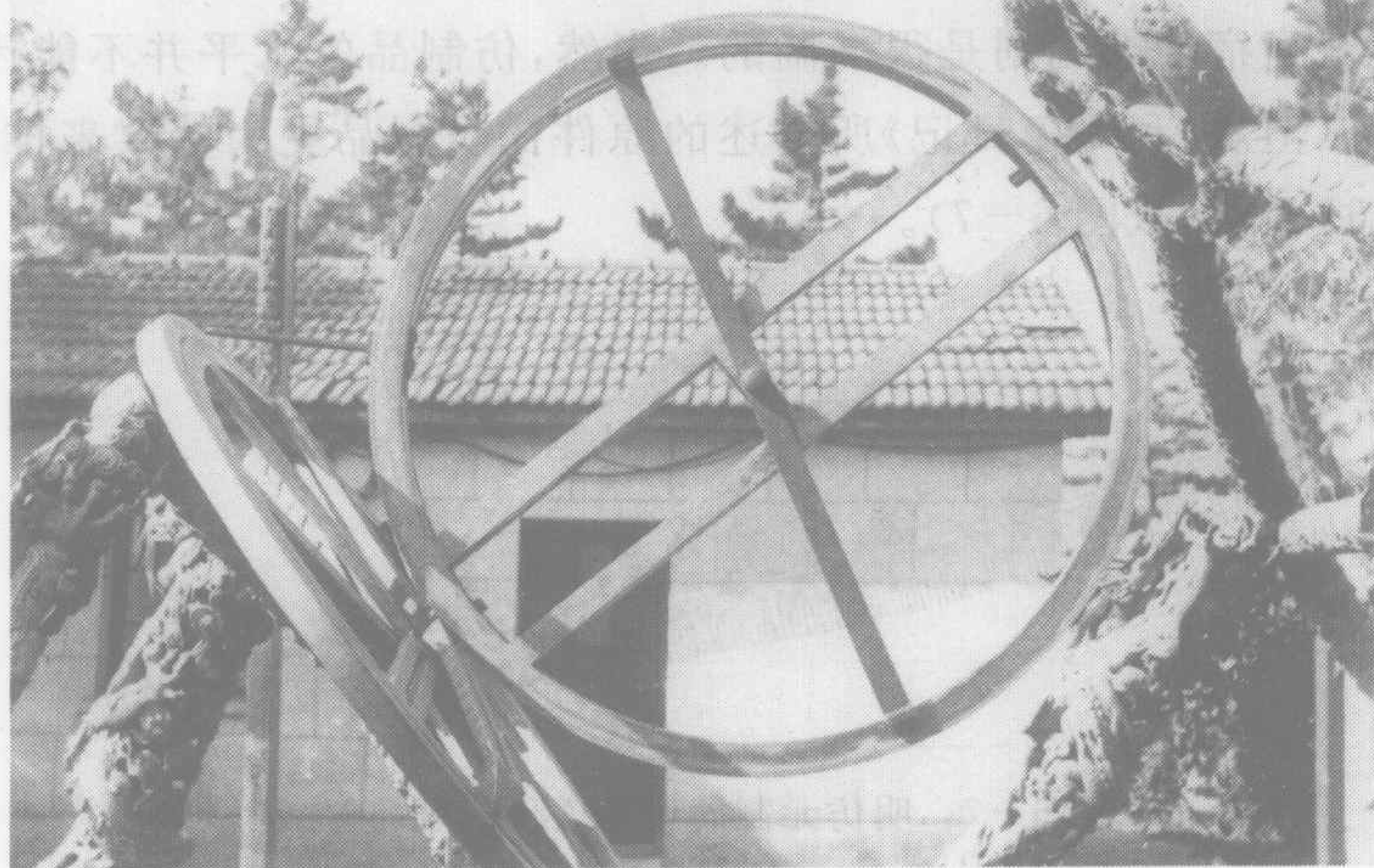


图 6—8 世界上最早的赤道仪及其窥衡和界衡

方位,亦能在安装仪器时用以定子午线、南北极与赤道位置。它本是随处可用的便携式仪器,利用简仪空隙地位安置了正方案,可测影校定方位,亦是一项善于利用空间的设施。

简仪之外,同样具有代表性的要算"四丈高表"(图 6—9)和仰仪了。"四丈高表"为铜制,较传统的"八尺之表"高出 5 倍,影长亦增加了 5 倍,量石圭上影长时,准确性亦相应地提高了。但单把晷影拉长是不够的,另有许多措施,综合地保证了测影的精度:

(1)表顶非平面,做成双龙擎横梁,梁距圭面 40 尺,梁上开槽定水准。

(2)梁的两端及中腰均横穿小孔,插铁棒,两旁结线会合于梁正下方,下挂悬锤。锤尖着圭面处为晷影起点。梁略北倾,锤尖离表足 1 尺。实际上是以悬锤代表表身,保证其竖直状态。

(3)沿圭边,左右开水渠,圭身两头凿小池,四周回通,注水保证圭身处于水平状态。

(4)表高影淡,郭守敬利用针孔成像原理,创制了景(影)符,置于圭身上取太阳的针孔像。这是具有活动盖板的小方铜盒,盖板垂直于日光,中开小孔,用小棒斜撑。圆形日影如米粒,横梁之影细如发丝,这就是晷影的终点。

表身竖直,圭面水平,长长的日影,起点与终点细而明。影长当然极为准确。郭守敬量度所用的工具还不得而知,但据《元史》记载,所得长度单位为厘,估读到



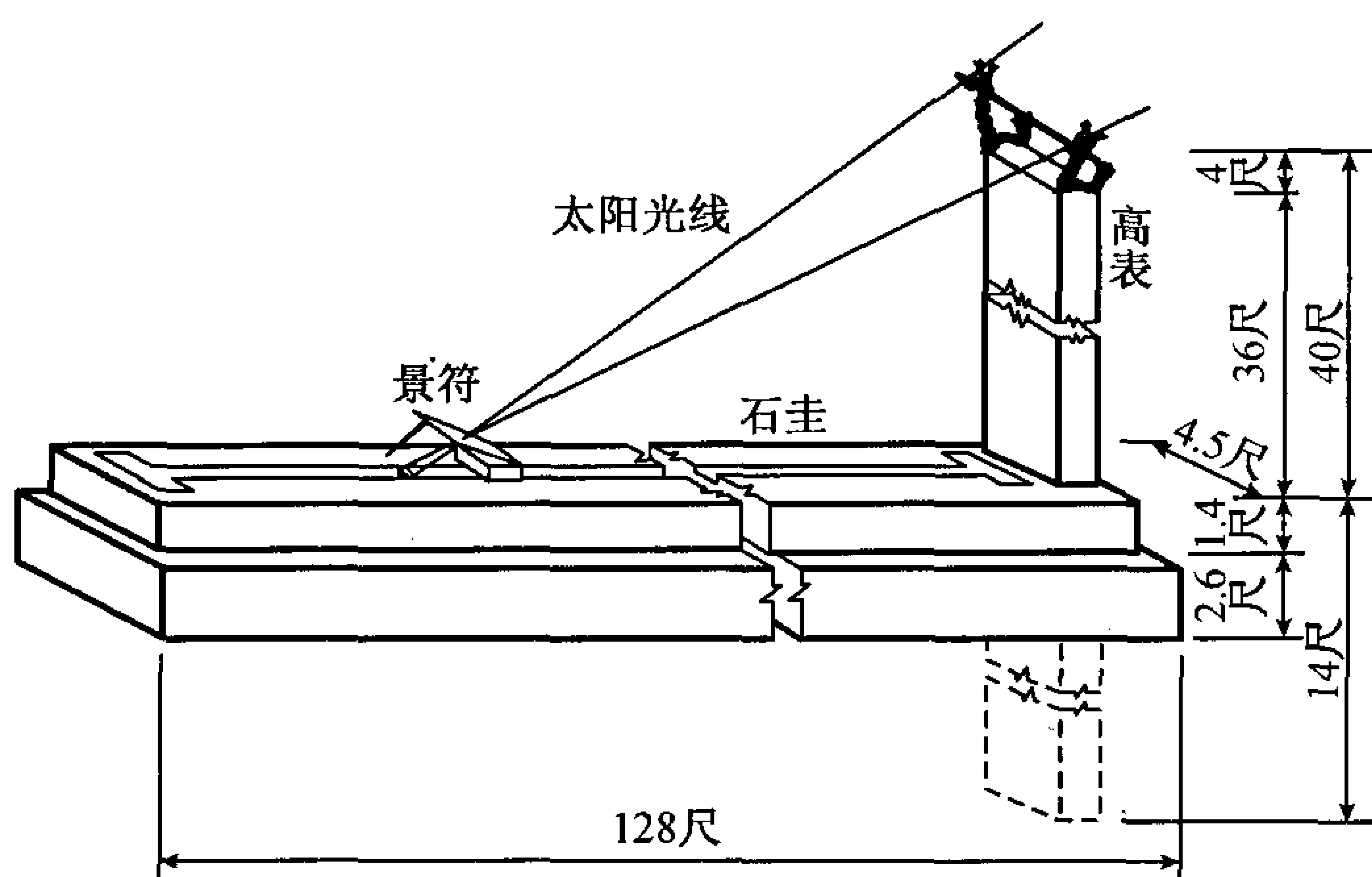


图 6—9 高表取影示意图

5 毫，即 0.12 毫米。近几年，有人做过晷影测量的复测与计算，认为实际上达不到这样的精度。不过，《元史·历志》记载着自至元十四年冬至到至元十六年冬至的晷影测量记录，为数一百有零。影长几乎都是以厘或 5 毫为最小单位。这必定都是实测所得而不是编拟出来的。我们现在还没有弄清楚他所使用的测量方法。郭守敬会同许衡等人先用木表测量，再制铜表，并在上都、阳城等五处设立这类仪表。他采用的测量手段可以说是相当奇妙的。

四丈高表已经泯灭，成为历史陈迹。而今，在河南登封告成镇，还留下一座当初郭守敬所建而在明代嘉靖七年(1528)重修的观星台。它具有高表的特征，留给后人以无限的景仰。

仰仪是化直接观测为间接观测的一项杰作。它形如半球形大釜，内径 12 尺(约 2.94 米)，深 6 尺(约 1.47 米)，铜制，安装于砖台上。边沿凿水渠一道，用以校定水平，仪口四周镌刻有十二辰次。子午方向正对南北，藉以标定正确的位置。环绕仪口内侧刻有周天 365 度。安置在仪边上垂直于衡竿的缩竿，端部装一片可旋转的玑板。板正中开一芥子大小的针孔，恰好位于仪口中心。这样，天顶、针孔、釜底中心[①]三者位于同一条竖直线上。釜内南极是天球北极的投影，至釜口为 40 度太，即元京城大都的北极出地高度。赤道上刻半周天，即百刻的一半(50 度)，并配以自卯时至戌时 6 个时辰。阳光穿过针孔，在釜内成一针孔像。日出时，像在西边口沿，为卯时，日没则像在东侧口沿，为戌时。这仰仪具有以下几项功能：

(1)半个赤道大圆分划 50 刻，每刻长度为 92.5 毫米。一刻为 36 分，每分弧长



① 它代表天底，即 Nadin。

约 2.6 毫米。太阳的针孔像每 24 秒行过 1 分即约 9 秒钟移动 1 毫米，行动相当迅速。利用仰仪观测地方真太阳时，若以估读至半分为准，则准确度约为 12 秒，这是出乎人们想象的。

(2)一年中太阳在黄道上行动，按郭守敬的测定，进退于赤道南北，二至日各 23 度 90 分 30 秒。在釜面上，太阳针孔像离赤道的垂直距离，最大可达 605 毫米。每天垂直距离的变动值约弧长 6.7 毫米。假令在釜面镂刻度分的话，太阳位置变动情况以及处于何节气，可不言而喻。《仰仪铭》描述说："视日透光，何度在也。……寒暑发敛，验进退也。"[①]确是不差。

(3)日食时，在釜面上能直接观测。太阳针孔像直径约 13.5 毫米，因而，初亏、食既、食甚、生光、复圆的时刻和方向，以至食分大小等都可一一观察，一目了然。它不伤目光，"以避赫曦，夺目害也。"[②]可称简捷有效。

(4)随地理位置变动能因地制宜，分别制作，适用于全国各地。南中国海旁的林邑，夏季，黄道位于天顶之北，日影向南；铁勒以北的远方，冬天的太阳，基本上在地平线上徜徉。但是都可仿作仰仪，同样应用。各种观测，都能"以指为告，无烦喙也"[③]，简捷极了。

除简仪、候极仪、立运仪、正方案、高表、景符、仰仪等之外，又有浑天象、玲珑仪、证理仪、窥玑、日月食仪、星晷、定时仪、丸表、悬正仪、座正仪等许多仪器。对这些仪器，长期以来，国内外曾有好些人做过研究，或著书或撰文，绘图述意，各抒己见。不少论议确各有所得。但平心而论，也有若干见地或图解，恐怕有悖乎情理，文献上也找不到可靠依据，只能称为聊备一格了。

三、晷影测量和北极出地高度测量的精度分析



制仪与测量，是郭守敬在天文学上的两大主要特长。为了制定授时历，在制作仪器的同时，他组织人员，首先从至元十三年(1276)至至元十六年(1279)，在大都进行晷影测量。随后又在仪器木样告成进呈核定的至元十六年初，分派 14 员监候官分别到全国各地进行晷影测量和北极出地高度即纬度测量。

1. 大都测影及量度方法的改进

制历的首要任务是测影验气，即测定冬至点和冬至时刻，从而定出一年长度和二十四节气。郭守敬除了改革工具、创制四丈高表和景符等仪器外，他还改进了测量和计算的方法。他在冬至之前及后数十天，以至最长达半年之久，量取多到二三

① 《元史·天文志一》，"仰仪"。
② 《元史·天文志一》，"仰仪"。
③ 《元史·天文志一》，"仰仪"。



十天的中午日影，反复进行验算，方才定下冬至的时刻。他接连测定至元十三年的冬至和至元十四年至至元十六年的夏至和冬至共 7 个数据，前后共做了一百多次的午正晷影测量。所得影长的有效数字长达 6 位。例如至元十五年十一月十二日辛卯，测得影长 7.58815 丈。

倘若论到测量的精确程度，1 厘约相当于今 0.245 毫米，5 毫约为 0.12 毫米，即丈量所得，大致达到 1 毫米的四分之一，并估读到 1 毫米的八分之一。曾有人利用现代精密经纬仪在登封的观星台做了日影观测，将观测记录进行拟合计算，得知观测精度约为 5 毫米。将测得的 4 天正午影长，同根据阳城纬度及太阳赤纬计算得的影长对比，两者差数的算术平均值为 5.75 毫米。[①] 郭守敬利用木制高表、木制 8 尺高圭表（这段时期内，计划中的四丈铜制高表尚未铸立），在那个时代所做百余次的日影观测中，统计得知约有 54%的影长，所得尾数为 5 毫。他所做量度的方式方法，必然是颇为独特的。有的研究者认为他达不到那样高的精度，但是他们对这么多的历史观测记录，提不出合理的否定论点。恐怕只好说，那是历史没有将郭守敬的度量方法流传下来。他既然在达·芬奇（Leonardo da Vinci）之前利用针孔像，又在西方产业革命之前应用了滚筒轴承，从类比推理来看他的日影记录，为什么他一定不能够创用一种较精密的量度方法呢？

利用这些晷影观测资料，郭守敬终于得到了两项有价值的科学结论。第一是拟定了至元十七年的冬至时刻为十一月己未日夜半后六刻即丑初一刻。为制定新的历法，取得了一项最基本的数据。从这冬至点出发，可以准确地定出二十四节气的时刻。第二是根据至元十五年戊寅岁的冬至时刻，从六朝刘宋大明六年壬寅年的冬至时刻起算，累计其中的积日和岁余时刻，除以积年 816 年，得到回归年长度为 365.2425 日。这数值同现今公历所用数值一样。虽然，南宋的杨忠辅，在制定统天历时，实际上已采用了这数值。他所定岁分为 4382910，余 62910，策法为 12000，得回归年长度为 365.2425 日，岁余为 0.2425。但是现在还不了解杨忠辅是怎样算得的，但知他著有《八历冬至考》、《晷景考》、《临安午中晷景常数》及《将来十年气朔》等书。郭守敬明白地留下了有关的推算方法和资料，所以人们常常将这回归年长度归功于他。同时，杨忠辅也发现了回归年长度在变化，逐渐在减小，因而采取了斗分差，用以改正回归年值。郭守敬从计算中同样地发现了这现象，也将回归年长度作为一个变量，定为百年消长各一分。



2. 四海测验的范围与精度

等到大都高表测影将告结束之际，郭守敬又上报忽必烈，要求进行全国性的北

① 潘鼐，盛钧：《郭守敬和他的科学贡献》，《自然杂志》1981 年，第 4 卷 11 期。

极出地高度、昼夜时刻数、夏至晷影等的测量。这一宏伟的分散于全国 27 处的天文实测，史书称为四海测验。工作过程中，分派监候官前赴各地时，郭守敬作为太史院的负责人，亲率队伍，不辞辛劳，踏遍南北天涯海角，历时一年有余亲自参与天文观测。这在古代天文学史中，不但前无古人，也可谓后无来者了。据《元史·世祖本纪》记载，郭守敬于至元十六年三月出发，先往上都立表置仪，折回大都，继赴阳城，建造起名闻世界的观星台，最后于次年三月到达南海，进行测影。这里的南海指的是广州[①]。广州市古称番（读如潘）禺，秦始皇始置南海郡，治所即在番禺。郭守敬完成这一带的测量任务后即返回大都，因为这年六月，新历稿成，主持改历的许衡、杨恭懿、王恂、郭守敬等人，需要一道面奏忽必烈。[②]

四海测验的大业，已有不少人论证，现仅列出其地名如下：南海，衡岳，岳台，和林，铁勒，北海，大都，上都，北京，益都，登州，高丽，西京，太原，安西府，兴元，成都，西凉州，车平，大名，南京，阳城，扬州，鄂州，吉州，雷州，琼州。

这 27 处，除去难于较明确判定的南海、衡岳等地，称得有 21 处地方北极出地高度的平均偏差为 0°.34，即约三分之一度。平均偏差的标准差为 $\sigma=0°.26$，即约四分之一度。从当时的制仪、安装与观测技术水平来说，应该认为是相当准确的。我们不妨再补充讨论几个饶有兴趣的问题：

文献记载四海测验的范围为“东极高丽，西至滇池，南逾朱崖，北尽铁勒”。这话的来历有待质疑。从上述 27 处地点来看，东方确实到了高丽，至元十七年还在高丽设置了驿站。然而文献中却又说“南海，北极出地一十五度”。朱崖实测所得北极出地十九度太（即 19°.75），同现琼山 20°.1′接近。但在元代，南海这地名即番禺，为广州路路治所在。那么，出地 15 度，究系何处呢？这问题曾引起不少人进行论议。《元史·世祖本纪》曾记至元二十一年“三月丙子遣太使监候张公永、彭质等往占城测候日晷”[③]，又记“六月壬子，遣使分道寻访测验晷景，日月交食，历法。”占城是一处有测景历史的古地，是郭守敬必然会注意的地方。至元十六七年间四海测验时，想必还有因故而来不及做的测量工作，到授时历完成，郭守敬于至元十九年到至元二十三年整理汇集各种资料时，自然要进行补充测量。因此，至元二十一年的再度分派监候官四出继续前次未竟之业，也是事理之常。至元二十一年二月元大军进入占城。因此，便有可能在二十一年三月派监候官张公永和彭质远道去



① 《元史》卷一〇《世祖本纪》：至元十六年“三月庚戌，敕郭守敬由上都、大都历河南府，抵南海测验晷景”。

② 明万历三十七年《南海县志》卷三“事纪”：元世祖至元十七年春三月“郭守敬……抵南海测验晷景。”又清乾隆十七年《番禺县志》卷一八“事纪”：“世祖至元十七年庚辰郭守敬至广州测验晷景”。

③ 《元史类编》卷三“世祖”一节亦有三月丙子“遣太史监候往占城测日晷”的记载。



测量。占城主要政治地区处于南纬15°上下，用这来代替原来的“南海”（广州）而称为南海，是扩大测影范围的一种发展措施。

前文还提到北尽铁勒，实际亦大大地超过了。所记“北海北极出地六十五度”即64.1度不但越铁勒而北，还远逾苏武牧羊所称的北海，即今贝加尔湖。从地域看，当在元代“益兰州等部断事官辖地”[①]的昂可剌地区。秦汉以后，凡塞北大泽，往往统称北海。故列名北海，亦无不可，正如将极南之地称做南海一般。《元史》谓四海测验为“亦古人之所未及为者也”，评论它是前无古人的一项宏伟工作，这评价是恰当的。

四、突破传统的恒星观测及其数值的校验

观测恒星是我国天文学的重要组成部分。《授时历议》称“列宿著于天，为舍二十有八，为度三百六十五有奇。非日躔无以校其度，非列舍无以纪其度，周天之度，因二者以得之。”这话说明了恒星观测的重要性。郭守敬凭他锐敏的观察，对二十八宿宿度历代不同的原因做了解释。他认为可能的原因有二，或是恒星本身在移动，或是前代的测量欠精密[②]。前一种解释，他隐约地看出了恒星自行的可能性，这种思维能力是了不起的。后一种估计显示他对自己的工作具有高度的自信。他曾将汉、唐、宋历代所测二十八宿距度同他自己所测做过比较。直到北宋元丰年间，天体测量仍然以度为单位，要等到崇宁五年（1106）姚舜辅的观测，才将所量度的单位约为少、半、太。郭守敬对简仪等仪器做了多项改进，所得结果就精密多了。二十八宿距度为赤经之差，有些误差会抵消的。宋元丰年间观测值的平均偏差为24′，崇宁年间的平均偏差已降为9.4分。174年后，郭守敬所测平均偏差更低到4′.2，还不到他所用的最小单位5分。可知郭守敬仪器的几项特点，尤其用二线以代窥管，确实起了作用。



从《行状》得知至元二十三年郭守敬正式担任太史令后，上报了他所汇总整理的专著十四种一百〇四卷。当然，这些著作的原作者，除郭守敬外还有许衡、杨恭懿、王恂以及太史院司天台许多人员。例如岳铉、曹震圭、冯天章等。但亲自领导制仪和测量的则是郭守敬。一百〇四卷著作中，有《新测二十八舍杂座诸星入宿去极》一卷和《新测无名诸星》一卷，是郭守敬的又一项重大贡献。

这一份富有时代价值的天文学遗产，不幸，随着郭守敬的其他著述，在历史的

① 《元史·地理志》。

② 《元史·历志》“周天列宿度”云：“列舍相距度数，历代所测不同，非微有动移，则前人所测或有未密。”

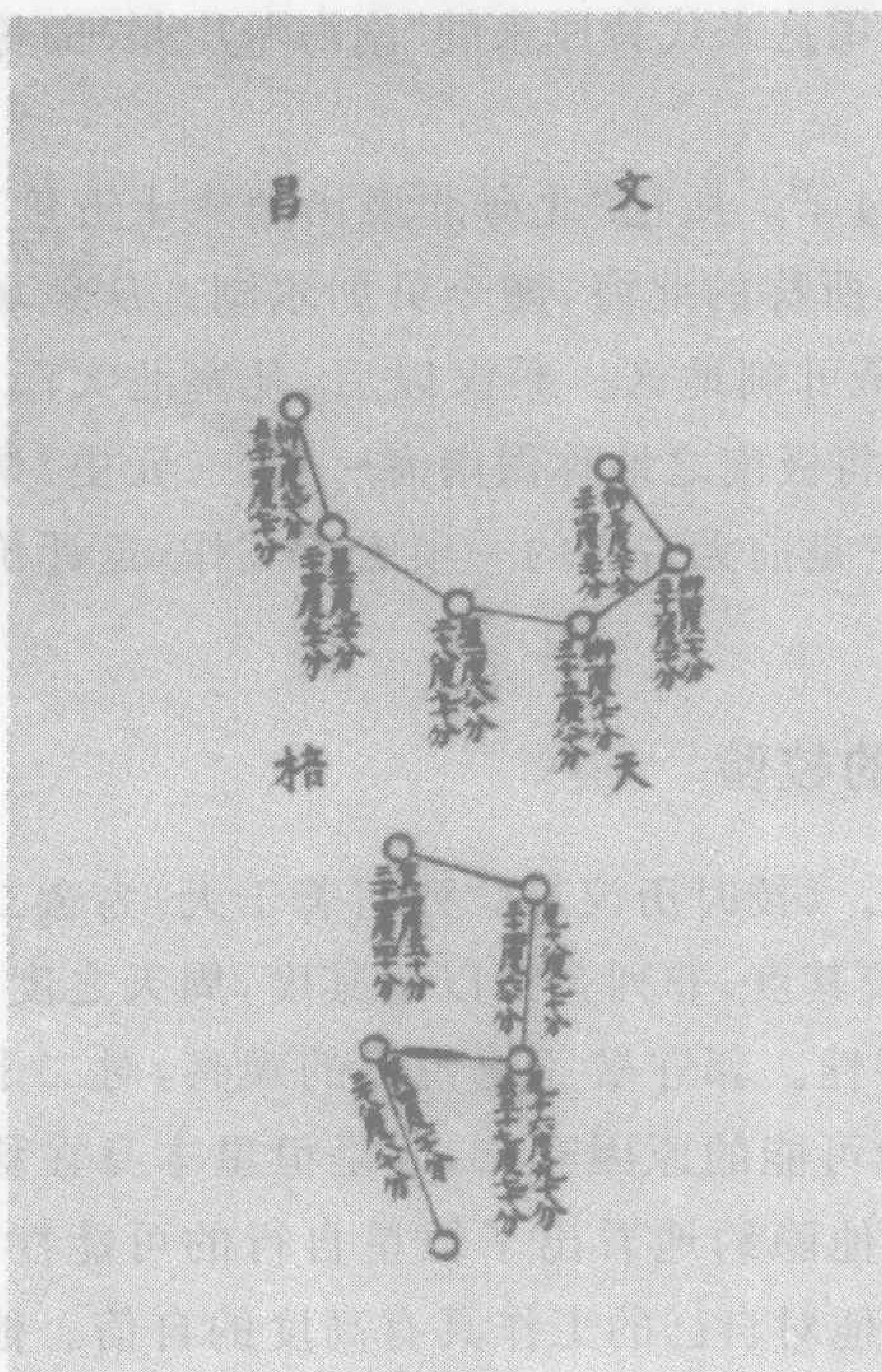


图 6—10　郭守敬恒星图表抄本——文昌与天棓(取自明钞本《天文汇钞》)

洪流中散失了①。清初的梅文鼎曾经在书店内购得一册残坏刻本,未标作者姓名,载有“普天星宿入宿去极度分,而中缺二宿。”后来在福建,又借得林侗一份钞本,将它补齐了。他认为“宋以前,并以日法名度,各有畸零,无整用百分者。百分为度,实始授时。今度下分有至九十余分,其为授时之法无疑”。由于“郭太史传,有二十八舍杂坐入宿去极度分一卷,新测无名星一卷……而书皆不传”。② 他认为这刻本就是郭守敬的星表,既“得此为征”,感到极为兴奋。作者曾长期着意寻访,1983 年初,在《全国善本书目》“天文历算”部分稿本内搜求。终于在一部明钞本《天文汇钞》(图 6—10)内,找到《三垣列舍入宿去极集》一卷。除数值残缺不全外,同梅文鼎所述相仿。对这沧海遗珠进行了一番探索,认可它是郭守敬所测星表的残稿。理由简述如下:

(1)度以下以 10 分进位,与传世明仿元制简仪、浑仪刻度一致,亦与《元史》所载无异。

(2)卷首所录二十八宿赤道宿度,与《元史·历志一》“授时历议”上及《元史·历志三》“授时历经”上所记郭守敬观测值完全相同。

(3)卷首所列“黄道十二次宿度”与《元史·历志三》“授时历经上”所录者全相符合。其小标题及“赤道宿度”小标题亦都与《授时历经》上所用一模一样。

(4)北极五星中的天枢,去极 2 度 90 分,即 $2°51'$。依现代公式计算,天枢于至元十七年的北极距为 $2°40'$,相差 $11'$,同度量所用最小单位,相去不远,表明它是元初的位置。

① 梅文鼎曾道:“郭太史著撰极丰,兹藏于官……郭书存亡不可得而问,所仅存者,历艸一书而已”。见《句庵历算书目》。

② 梅文鼎曾道:“郭太史著撰极丰,兹藏于官……郭书存亡不可得而问,所仅存者,历艸一书而已。”见《句庵历算书目》。



残稿所抄录的星象有图兼有数值，完全依《步天歌》283 官 1464 星的格局。录有入宿度和去极度者共 729 星，为数颇多，弥足珍贵。现于残稿三垣中各取 3 星，二十八宿每宿各取 2 星，共 65 星进行校算。选取的标准有二：一是在现代星图中所证认的对应星不生问题者，例如心后星、北落师门、觜北星等；二是将坐标归算到 1975.0，再与现代星表比较，并取北宋皇祐星官对应星核对无讹者，例如天弁西第一星，诸王西星，天记等。将这 65 星郭守敬所测入宿去极度化算为 1280 年的赤经与赤纬，并将现代星表上的赤经、赤纬归算为历元 1280 年的数值。两相比较如表 6—7：

表 6—7 至元年间郭守敬星表的抽样校算

星名	今通用名	入宿度 度 分	去极度 度 分	入宿度折赤经 时 分	赤经 1280 计算值 时 分	入宿度误差 分	去极度折赤纬 ° ′	赤纬 1280 计算值 ° ′	去极度误差 ′
天田东星	84 Vir	角 4 40	84 60	13 05.0	13 07.0	−0.2	+06 37	+07 17	+40
周鼎东星	6 Boö	角 6 80	66 50	13 14.4	13 15.6	−1.2	+24 27	+24 57	+30
亢西北星	1 Vir	亢 0 60	94 30	13 37.3	13 38.6	−1.3	−2 57	−2 25	+32
亢东北星	ϕ Vir	亢 3 90	90 50	13 50.3	13 51.4	−1.1	+00 48	+01 09	+21
天辐北星	υ Lib	氐 10 80	117 40	14 54.2	14 54.1	+0.1	−25 43	−25 30	+13
天乳	μ Ser	氐 15 30	92 40	15 11.9	15 12.4	−0.5	−1 04	−1 00	+4
钩钤西星	ω_1 Sco	房 2 30	110 10	15 25.0	15 25.2	−0.2	−18 31	−18 27	+4
键闭	υ Sco	房 3 70	108 90	15 30.6	15 30.7	−0.1	−17 20	−17 19	+1
罚中星	χ Oph	心 1 80	108 40	15 45.1	15 45.8	−0.7	−16 51	−16 32	+19
心后星	τ Sco	心 3 20	118 20	15 50.6	15 51.7	−1.1	−26 30	−26 25	+5
尾西第三星	ζ Sco	尾 0 50	132 90	16 05.8	16 04.8	+1.0	−40 59	−40 46	+13
天江南第二星	θ Oph	尾 8 70	115 50	16 38.1	16 38.1	±0.0	−23 50	−23 57	−7
箕东北星	δ Sgr	箕 3 90	121 40	17 35.1	17 34.8	+0.3	−29 39	−29 48	−9
开弁西第一星	α Sct	箕 9 10	99 70	17 55.6	17 56.5	−0.9	−8 16	−8 27	−11
狗西星	χ_1 Sgr	斗 10 10	117 00	18 40.4	18 41.2	−0.8	−25 19	−25 35	−16
河鼓大星	α Aql	斗 18 60	83 70	19 13.9	19 15.6	−1.7	+07 30	+07 13	−17
天津西南第二星	r Cyg	牛 3 90	52 60	19 55.6	19 56.4	−0.8	+38 09	+38 07	+2
罗堰北星	τ Cap	牛 4 60	108 50	19 58.4	19 58.6	−0.2	−16 56	−17 14	+42
十二国郑	r Mic	女 1 00	127 00	20 12.3	20 16.3	−4.0	−35 10	−34 49	+21
天津南哨星	ζ Cyg	女 8 70	63 20	20 42.7	20 42.4	+0.3	+27 43	+27 26	−17
人西南星	κ Peg	虚 4 50	68 70	21 11.1	21 12.2	−1.1	+22 17	+22 29	+12



续表

星名	今通用名	入宿度 度 分	去极度 度 分	入宿度折赤经 时 分	赤经 1280 计算值 时 分	入宿度误差 分	去极度折赤纬 ° ′	赤纬 1280 计算值 ° ′	去极度误差 ′
人东南星	16 Peg	虚 6 10	67 60	21 17.6	21 20.5	−2.9	+23 22	+22 40	−42
土公吏东星	ξ Peg	危 10 70	81 90	22 10.8	22 10.8	±0.0	+09 17	+08 35	−42
北落师门	α PsA	危 12 70	124 60	22 18.7	22 17.0	+1.7	−32 49	−33 20	−31
垒壁阵东第五星	φ Aqr	室 1 90	100 90	22 36.6	22 36.8	−0.2	−9 27	−9 52	−25
离宫东二星东星	υ Peg	室 5 10	70 90	22 49.2	22 49.8	−0.6	+20 07	+19 29	−38
奎西南第四星	δ And	壁 6 40	63 30	0 01.7	0 01.2	+0.5	+27 36	+26 53	−43
土司空	β Cet	壁 8 20	113 20	0 08.8	0 07.2	+1.6	−21 34	−21 59	−25
外屏西第二星	ε Psc	奎 3 90	86 80	0 25.2	0 25.9	−0.7	+04 27	+03 57	−30
天仓西第三星	θ Cet	奎 9 90	103 10	0 48.8	0 48.1	+0.7	−11 37	−11 59	−22
天仓东北星	ζ Cet	娄 0 30	105 10	1 16.7	1 16.0	+0.7	−13 35	−14 00	−25
天大将军东大星	γ And	娄 1 70	51 30	1 22.2	1 22.8	−0.6	+39 26	+38 43	−43
大陵东南星	ρ Per	胃 4 80	54 60	2 21.0	2 20.2	+0.8	+36 11	+35 49	−22
天廪南第二星	ξ Tau	胃 11 60	83 90	2 47.8	2 48.6	−0.8	+07 18	+07 00	−18
卷舌东南星	ζ Per	昴 1 70	61 20	3 09.5	3 09.7	−0.2	+29 41	+29 28	−13
月星	37 Tau	昴 5 10	70 90	3 22.9	3 22.7	+0.2	+20 07	+19 51	−16
诸王西星	τ Tau	毕 3 20	69 70	3 59.6	3 59.5	+0.1	+21 18	+21 17	−1
玉井南星	λ Eri	毕 11 70	101 30	4 33.2	4 34.9	−1.7	−09 51	−09 56	−5
觜北星	λ Ori	觜 0 20	81 90	4 56.3	4 55.7	+0.6	+09 17	+09 10	−7
觜东南星	φ_2 Ori	觜 0 50	82 60	4 57.4	4 57.5	−0.1	+08 35	+08 36	+1
伐南星	l Ori	参 1 00	97 80	4 59.3	5 00.3	−1.0	−06 24	−06 39	−15
厕东南星	γ Lep	参 4 70	114 60	5 13.9	5 14.5	−0.6	−22 57	−22 54	+3
井西肩南星	ξ Gem	井 6 10	77 70	6 03.4	6 04.8	−1.4	+13 25	+13 22	−3
南河大星	α CMi	井 20 50	84 50	7 00.2	7 01.4	−1.2	+06 43	+06 49	+6
鬼东北星	γ Cnc	鬼 3 10	67 50	8 02.3	8 01.1	+1.2	+23 28	+23 49	+21
鬼东南星	δ Cnc	鬼 3 60	70 70	8 04.3	8 03.3	+1.0	+20 19	+20 33	+14
天记	12 Hya	柳 3 00	102 30	8 11.1	8 12.3	−1.2	−10 50	−11 07	−17
柳东第三星	ζ Hya	柳 4 40	82 90	8 16.6	8 17.1	−0.5	+08 17	+08 28	+11
星东第二星	τ_2 Hya	星 0 10	89 70	8 52.2	8 55.1	−2.6	+01 35	+01 49	+14
轩辕右足星	o Leo	星 2 60	78 60	9 02.4	9 02.3	+0.1	+12 32	+13 00	+28
轩辕大星	α Lĕo	张 3 20	76 60	9 29.5	9 29.6	−0.1	+14 30	+15 20	+50





续表

星 名	今通用名	入宿度 度 分	去极度 度 分	入宿度折赤经 时 分	赤经1280计算值 时 分	入宿度误差 分	去极度折赤纬 ° ′	赤纬1280计算值 ° ′	去极度误差 ′
轩辕左足星	ρ Leo	张 9 50	78 80	9 54.3	9 54.6	−0.3	+12 20	+12 54	+34
右 辖	α Crv	翼 16 70	112 40	11 30.7	11 31.8	−1.1	−20 47	−20 43	+4
轸西南星	ε Crv	翼 17 30	110 80	11 33.1	11 33.6	−0.5	−19 12	−18 37	+35
进 贤	θ Vir	轸 13 50	93 70	12 32.4	12 32.9	−0.5	−02 21	−01 37	+44
平西星	γ Hya	轸 15 80	111 50	12 41.4	12 40.4	+1.0	−19 54	−19 17	+37
右 枢	α Dra	亢 3 30	22 80	13 47.9	13 45.1	+2.8	+67 32	+67 54	+22
北斗天玑	γ UMa	翼 12 40	33 20	11 13.8	11 14.2	−0.4	+57 17	+57 41	+24
天棓东中星	γ Dra	箕 4 10	38 80	17 35.9	17 40.0	−4.1	+51 45	+51 42	−3
右执法	η Vir	轸 0 90	88 10	11 42.7	11 43.1	−0.4	+03 09	+03 21	+12
右次将	l Leo	翼 5 30	77 10	10 45.8	10 46.1	−0.3	+14 01	+14 26	+25
郎 将	α Cvn	轸 10 70	48 40	12 21.3	12 21.7	−0.4	+42 18	+42 16	−2
韩	ζ Oph	心 4 80	100 30	15 57.0	15 57.8	−0.8	−08 51	−08 50	+1
候	α Oph	尾 14 30	77 70	17 00.2	17 01.6	−1.4	+13 25	+13 20	−5
屠肆东星	102 Her	箕 4 30	70 70	17 36.7	17 38.0	−1.3	+20 19	+20 56	+37

将表列二十八宿区域56星赤经与赤纬的误差进行统计，可知：

(1)入宿度的平均偏差为 $\bar{x}=0^m.90$，即 $13'.5$，平均偏差的标准差为 $S=0^m.85$ 即 $12'.8$，为数均不大。但这是剔除了误差稍大的紫微垣各星入宿度而算得的。



(2)去极度的平均偏差为 $\bar{x}=19'.3$，平均偏差的标准差为 $13'.6$。总的说来，去极度的离散性较入宿度的小。这是因为入宿度需做两次观测，而去极度只需做一次观测的关系。

将去极度误差做平均误差计算，其 $\sum x=1'$ 即正与负的误差几乎相等，得 $\bar{x}=0'.018$，为数微不足道，等于古度郭守敬百分制的0.03分。可以看出这批数值，观测误差并不很大。去极度的平均偏差稍大于入宿度的平均偏差。观察表上各赤纬的误差值，发现二十八宿区域内56颗星中，自角宿区的天田东星至尾西第三星的11颗星，加上自井西肩第三星至轸的平星西星，14星中的13星(剔除天记)[①]，共23颗星的误差均为正值，其平均误差 $\bar{x}=21'$，即百分制35分。又，自尾宿区的天

① 天记误差相反为负值。

江南第二星至觜宿北星共 28 颗星中的 24 星(剔除罗堰北星、天津西南第二星等星)①。误差均为负值。其平均误差为 $\bar{x}=22'$ 即百分制－37 分≈－35 分。另有觜宿东南星至井宿西南星 4 颗星,误差两正两负,介于两者之中,且为数不大。尾宿左右,误差正值与负值交界处几颗星,误差值亦不大。这现象,天区上两相反方向的两批星,去极度一边均偏大,另一边均偏小,其数值大抵平均相等,约为 1 度的三分之一。显见得存在着一项系统误差。再将郭守敬所测按二十八宿距星的宿度及距星去极度,同根据现代观测值归算到 1280 年值做对比,得宿度的平均偏差为 4′.2,去极度的平均偏差为 18′.2。后者同前述 56 星的平均偏差近乎相等。亦同样地存在着相类同的系统误差。

郭守敬等人在至元十六年进呈仪器式样,方开始铸造铜仪。简仪和浑仪上的二十八宿距度刻划,都是用初期木制仪器测得的。至元二十三年已将全部著述缮就进呈,而浑仪等仪器到至元二十五六年方才铸就,制作天文仪器的不易于此可见。这些恒星位置,有极大一部分看来是用木制仪器在制历期间观测得来的。立运仪、候极仪等仪,此时恐怕还未组装成简仪,初期的简仪大致只是那具大赤道仪,因而将立运仪等分别作为 13 件仪器的组成部分。倘若开始时,现存简仪的格局和结构业已定型,则 13 件之数岂非部分成了重复？恒星位置的误差虽然比宋代已有着较多的进步,但还不够理想,时间忽促,仪器草创,恐怕是其主要原因吧！

五、《授时历》的完成和一个时代天文成就的整理

元代初年,从总的来说,对天文学发展最具有重大历史价值的工作,是授时历的制定。郭守敬所做的制仪和测量,除晚年几项仪器外,都是围绕着授时历而进行的。至元十三年(1276)为此成立太史局,名儒许衡(1209—1281)以 68 岁高龄应召重新出仕。十五年三月正式成立太史院,他任集贤大学士兼教领太史院事。当时,王恂任太史令,郭守敬任同知太史院事。十六年,招聘隐士杨恭懿(1225—1294)共参修历。这年还在大都城东南角新建起太史院并建造一座司天台。其后还将原在城西南郊外的司天台并入新机构。太史院的规模很大,周围长约 123 米,宽约 92 米。中央的灵台高约 17.2 米,安装简仪与仰仪,四周围绕以太史院的衙署。左侧为一较小的观测台,上面安装玲珑仪,即浑仪。右旁是铜制的 40 尺高表,连圭座高 11 米余。另外还有许多附设机构和屋宇。这都是王恂与郭守敬共同建设的。



这个历史上著名的天文机构,有着较严密的分工和制度。王恂"业精算术",承担的任务是"凡日月盈缩迟疾,五星进退,见伏昏晓,中星以应四时者,悉付其推

① 罗堰北星,天津西南第二星等 4 星误差相反均为正值。



演”。郭守敬“颖悟天运，妙于制度”，他的分工为：“凡仪、象、表、漏、考日时，步星躔者，悉付规矩之”。任指导的许衡和杨恭懿则“凡研究天道，斟酌损益者，悉付教领之”。[①] 从文献来判别，授时历是在张文谦与张易领导下，是以许、杨、王、郭四人为首，太史院诸人共同努力的成果。理论和方法当以许、杨为立。太史院的工作以及推算制历由王恂主持[②]。制仪和观测则以郭守敬为主。至元十九年，王恂丁忧奔表后去世。这时，推算授时历的方式方法与计算资料，尚未整理就绪，测验所得数据，还没有编纂成表，即授时历的理论、方法、公式与实用算表等均有待于整理撰写成一套完整的材料。这个重任就落在郭守敬的肩上。虽然，至元十九年王恂卒后，忽必烈改任秘书少监赵秉温为昭文馆学士知太史院事，二十一年又改以阿剌浑萨理任集贤大学士兼太史院事，但太史院的实际工作却是郭守敬一手办理。至元二十三年，他正式被任命为太史令。经过四年辛苦，先后成书两批。第一批为推步七卷，立成二卷，历议拟稿三卷，转神选择一卷，上中下三历注式十二卷，共五种二十五卷，于担任太史令后上奏。第二批继续进呈的，有关于历法的时候笺注二卷，修改源流一卷，共二种三卷，有关于测验的仪象法式二卷，二至晷影考二十卷，五星细行考五十卷，古今交食考一卷，新测二十八舍杂座诸星入宿去极一卷，新测无名诸星一卷，月离考一卷，共七种七十六卷，总计合有十四种一百〇四卷，“并藏之官”。[③] 就由于深藏于官府，以致这批弥足珍贵的科学文献，在元亡后就告散失了。

郭守敬对于历法的突出贡献，除前述通过计算确定与今公历相同的回归年长度，辅以“百年为率，小余之下，增损各一”[④]外，还有两项有价值的工作，亦具有重大意义：

(1)测得新的黄赤道内外度，即黄赤交角为 23 度 90 分 30 秒。古代虽沿用黄赤交角 24 度，但在测量冬、夏至太阳去极度时，倘将冬至日去极度减夏至日去极度除以 2，即得实际的黄赤交角。较早时期，史籍并无关于古人应用此法算得冬夏至黄赤道内外度的记载。但对郭守敬所测两去极度来做简单计算，即可得黄赤交角为 23 度 90 分 30 秒。他的计算表上亦是此值。故知《行状》记为 23 度 90 分当系漏写尾数或仅写大数，两者应是相符合的。这是郭守敬正式明白无误地改变了沿用已极久远的古值 24 度。实际上，更早的历法家也早已重测过冬夏至日的太阳去极度了。例如唐徐昴的宣明历与继之而起的边冈崇玄历，其冬至太阳去极度各为



① 本节引语均见杨桓《太史院铭》，载《元文类》卷一七。

② 《元朝名臣事略》卷九《太史王文肃公》记云：“……本院属官，悉听公辟。十七年，公与许公奏：‘臣等合朔南司历官，偏考历书四十余家，昼夜测验，创立新法，参以古制，推算至辛巳岁。历成。……”

③ 元齐履谦：《知太史院事郭公行状》。

④ 元齐履谦：《知太史院事郭公行状》。

115 度 17 分及 115 度 20 分，夏至太阳去极度各为 67 度 34 分及 67 度 40 分。简单地计算得知黄赤交角各为 23°34′17″及 23°33′24″。倘按现代公式计算，则当时各为 23°35′33″和 23°35′00″。郭守敬所测 23 度 90 分 30 秒折 360°制为 23°33′34″。按现代公式算得的为 23°32′1″。法国的天算学家拉普拉斯，当他用各国历代各黄赤交角值来证明他的黄道倾角在逐渐变小的理论时，曾以郭守敬值作为最有力的证据。

（2）废除了行用千余年的积年日法。古代历法，习惯要采用一个上元积年，要定出一个作为计算历法起始的上元日。这一初始日须是“夜半朔旦冬至”。从这上元算到制历年或制历年上年的冬至，其间年数谓之积年。根据积年，自然会有一个积日。但一年 365 日之下，还有余数，古代用分数来表示，其分母称为“日法”。这分母还须适应许多通分计算。历代历法每将日法增损，积年改订，各不相同，“然行之未远，侵复差失。”[①]郭守敬等人认为“天道自然，岂人为附会所能苟合”[②]，就毅然决然将它废除了，计算上改用百分制的小数。新历告成奏闻时，杨恭懿等人曾发表见解说：“……成辛巳历。虽或未精，然比之前改历者，附会历元，更立日法，全踵故习，顾亦无愧。”[③]对废除积年日法的自许，是他们对新历所作惟一的自我评价，其意义的重大可想而知。

授时历的特点，有“考正者七事”和“创法凡五事”。[④] 由于郭守敬最后编辑定稿，后人往往主要归功于他。实际上，除上述各项外，属于推算的，是王恂的工作。不过郭守敬的历算功力，既承家传，复自深研，亦是他的特长。所以齐履谦说：“公纯德实学，为世师法，然其不可及者有三：……二曰历数之学，三曰仪象制度之学。”他的评价自然不会是空谷来风。

当年，邢台人为郭守敬列位乡贤祠；现今，邢台市人民政府为之树立塑像，建设纪念馆。天文家中，一代巨擘，成就确是不凡的。



（撰稿人：潘　鼐）

第六节　赵友钦

一、生平事迹

赵友钦，生平事迹不详。

---

① 《元史·历志二》“不用积年日法”。

② 《元史·历志二》“不用积年日法”。

③ 齐履谦：《行状》。

④ 齐履谦：《行状》。



《永乐大典》收集有《革象新书》，不载作者姓名。书中有宋濂写的序文说："赵缘督先生所著也。先生鄱阳人，隐遁自晦，不知其名若字。或曰名敬，字子恭；或曰友钦。其名弗能详也。"明初王袆（1321—1372）《重修革象新书》曰："先生名友某，字子公。其先于宋有属籍。"因此，只能肯定《革象新书》是赵缘督所著。但缘督是他的号。宋濂、王袆二说似有矛盾，也不很肯定。

又据《红雨楼题跋》引明朝弘治、正德年间（1488—1521）吴郡都邛《三余赘笔》说："予家蓄是书久矣，辄因二公（指宋和王）之言，而疑先生之名字。近见一杂书，先生名友钦，字敬夫，饶之德兴人。则知名敬，字子恭，及子公者，皆非也。"看来，《三余赘笔》的记载是正确的，宋濂自己也弄不清赵缘督的姓名，他所说"或曰名敬"，应是赵缘督的字"敬夫"之误；王袆所说的友某，应是友钦的省称；子恭应是他的名字，王袆所载子公也是同音异写。因此，别号叫作赵缘督先生的人，应是姓赵，名友钦，字敬夫，又字子恭。三人记载是可以统一的。

至于赵友钦的籍贯，《三余赘笔》所载也是正确的，为饶州德兴县人。宋濂和王袆都说他是鄱阳人。鄱阳和饶州是一个地方，治所在今江西波阳，在鄱阳湖东。元称饶州，明初改为鄱阳，后不久又改为饶州，故三人有不同的记载。

各家都说赵友钦是宋宗室之后，考《宋史·宗室世系表》，汉王房十二世为友字联名，他应是汉王房十二世后裔。在《革象新书·日道岁差篇》说：授时历"百年减一秒，至元辛巳行用至今，秒数尚作二十五，犹未减也。"由此推断，它的成书年代大约已距授时历颁行（1281）以后数十年。又《元会运世》在论及其周期时说："夏禹八年甲子为午会之初；今泰定甲子乃午会第十运之戌世初年。"则此书肯定写在元泰定甲子年（1324）以后，所以应成书在元代中期以后。



《千顷堂书目》说，赵友钦"遇异人石得之传其术，尝往来衢婺山水间，死葬于衢。龙游人朱晖德明传其书于世。"可见赵友钦的天文知识是得到石得之传授的。关于石得之其人，清代万历年间编撰的浙江《龙游县志·人物》记载说：

> 赵友钦，鄱阳人。少好天官遁甲学。一日于芝山酒楼，遇道人，方瞳绿鬓，与饮酒，既而尽出怀中书授之，友钦由是遂浪游东南海上，或乘青骡往来衢婺间。所著《革象新书》。

因此，这个传其术的石得之，原来是一位方瞳绿鬓的道士，他曾传授给赵友钦若干天文秘籍，使得这位"少好天官遁甲学"的青年学问大进。又《畴人传·赵友钦》说："友钦卒，葬于龙游之鸡鸣山，龙游朱晖字德明，从友钦游，受《革象新书》。晖没，其门人章濬征宋濂序而刻之。"《十驾斋养新录》说："《革象新书》元椠本，门人三衢章濬纂辑，不分卷。"这样看来，赵友钦是元代中期的民间天文学家，主要活动于江西的德兴、婺源和浙江的衢县之间。死后葬于原龙游县的鸡鸣山下。后龙游县大部

并入衢县。《千顷堂书目》和《畴人传》所载赵友钦葬地，也都能成立。石得之是赵友钦的老师，赵友钦是朱晖的老师，朱晖是章濬的老师。赵友钦、朱晖、章濬、王祎、宋濂大约是同代人，只是赵友钦年纪要大一些。宋濂在明初曾担任大学士的职务，只是《革象新书》有元刻本，宋濂的序文大约也写在入明以前。明朝建立以后，王祎仅过了5年就去世了。但由他改订的《重修革象新书》却是在明初刊印的。明朝中期以后，《重修革象新书》还再版过几次，原《革象新书》却从此绝版了。

从赵友钦葬于龙游鸡鸣山的情况来看，可算是客死他乡了，他晚年的生活大约是比较困苦的。龙游是朱晖的家乡，因此，赵友钦的晚年可能是投靠朱晖为生的。死后其著作《革象新书》也由朱晖收藏。最后在门人章濬的支持下，才得到出版。

清初范一梁据明初宋濂序文中有"惟傅文懿公立独敬畏之"之句，作《赵缘督年世考》。由于傅立生于宋末元初，所以认定赵友钦也是宋末元初人。王锦光先生也主此说。至于"泰定甲子"之文，认为是章濬、王祎掺入，不能为据[①]。此说未经认真考定，多属主观猜测。即使为其所言，"泰定甲子"是王祎作《重修革象新书》时掺入，但《革象新书》原版"日道岁差"却有授时历"至元辛巳行用至今秒数尚作二十五"之句，王祎的《重修革象新书》却删除了。此点正是《革象新书》不能作于元初以前的反证。

又据清代嘉庆《大清一统志·衢州府》记载：

> 赵友钦，宋宗室。凡遁甲、韬钤、天文、历算之学，靡不精究。其书失于兵火，惟有《革象新书》，王祎手校传世。

可见赵友钦不仅精通天文历算，同时还擅长遁甲、韬钤之学，并有多种著作闻世，可惜失于兵火之灾，仅存《革象新书》。民国《龙游县志·古迹》还载有："赵缘督望星台，在县治东三里，距鸡鸣塔数十武下临鸡鸣潭。"看来，赵友钦所创制的天文仪器，以及他所做的天文观测工作，都是在龙游镇东三里的鸡鸣塔附近进行的。此地应该就是朱晖的故居所在地。



二、第一本系统介绍中国古代天文知识的书

赵友钦是元代民间天文学家，《革象新书》是他一生从事天文研究的结晶。"革象"的名称，取之于"革卦大象"之文。原书共分三十三篇，不分卷。《四库全书》从《永乐大典》中著录作五卷。三十三篇的标题如下：

天道左旋　日至之景　岁序始终

闰定四时　天周岁终　历法改革

---

① 《赵友钦及其光学研究》，《科技史文集》，第12辑，1984年3月。



星分棋布　日道岁差　黄道损益
积年日法　元会运世　气朔没灭
日月盈缩　月有九道　时分百刻
昼夜短长　气积寒暑　天地正中
地域远近　月体半明　日月薄食
日轮分视　五纬距合　盖天舛理
浑仪制度　经星定躔　横度去极
占景知交　偏远准则　小罅光景
勾股测天　乾象周髀　天文图说

只需观察和分析一下这 33 个标题，即能知道，它几乎包括了中国古代全部天文学的内容，其中有天文理论，仪器的结构和制造，天文和恒星观测，坐标系统，历法计算，日月五星运动的推算，交食预报等。因此，所包含的内容很全面，涉及的范围也很广泛。讲解的内容虽然很深奥，但所使用的语言却很浅显，形象生动，比喻确当，容易为人们理解和接受。

例如，赵友钦把天球比喻为圆瓜，北极为瓜之连蔓处，南极为瓜之有花处，十二次就如瓜之 12 瓣；将浑天比喻为内盛半球之水的蹴球，水上浮一木板比拟为人间地平[①]；以甑灶之理来比喻寒暑与日照的关系[②]；以良、劣二马在圆形的跑道上赛跑来比喻日月相对行度的变化[③]，等等。

《革象新书》像一本中国古代天文学史的教科书，它有可能是为了给门徒们讲授天文知识的讲稿，一篇讲授一项天文学内容。例如，“盖天舛理”批判盖天说观点的错误；“闰定四时”讲以闰月来调整四时节候；“日月盈缩”讲除日月的平均运动以外还存在的不均匀运动；“气积寒暑”讲四季寒暑变化的道理；“时分百刻”则具体说明昼夜百刻与 12 时之间的配合；“经星定躔”和“横度去极”讲的是天体入宿度和去极度的测量方法；等等。



中国古代的天文学文献十分丰富，但大多是出于专门性的论著，其中尤以历法著作较多，这些著作不但艰深难读，而且很难从中得到全面入门的天文知识。在中国古代，不乏像《灵台秘苑》《乙巳占》《开元占经》《乾象新书》这类的长篇巨著，但这些著作大多是偏重于占候性质的资料汇编。像《革象新书》这样内容十分丰富的长篇论著，在中国天文史上还属于第一次，因而有着重要的价值和意义。正因为《革象新书》是一本内容十分丰富、涉及的范围十分广泛，所使用的文字又十分浅显易

① 《天道左旋》《星分棋布》。
② 《气积寒暑》。
③ 《天周岁终》。

懂的书，它在中国天文学史上几乎是独树一帜的。因此，它出版以后，得到人们的广泛欢迎，在明清时代曾经多次刊刻出版，“其书遂风行一时”。[1]

阮元在《畴人传》中评价说：“步算之书，苦于难读。友钦罕譬曲喻，出以平易，其津逮来学之心至矣。”《郑堂读书记》也说：“罕比曲喻，出以平易，故能推究详赡，发前人之所未发。”“此真通人之论，非精于推步者不能知，非胸有定见者不能言也。”他们对于赵友钦在总结和普及中国古代天文知识方面所做的努力，都给予了充分的肯定和高度的评价。

三、赵友钦在天文学上的贡献

如前所述，赵友钦在天文学上最大的贡献是系统地整理和总结了中国古代的天文学，并且尽可能地用通俗的语言把它介绍给读者。许多对中国古代天文学尚不大熟悉的读者，想要知道中国古代天文学中的某个具体问题时，都可从《革象新书》中找到初步的答案。然而，赵友钦《革象新书》的工作并不只限于总结和归纳，同时也写入了自己毕生的研究心得。赵友钦研究工作的最大成就，主要在天文学理论和天文观测两个方面，现介绍如下：

1. 对天文学理论的探讨

中国古代天文学长于测算和天文学的具体应用，在理论方面则比较贫乏。很多著名的天文学家都埋头于制造天文仪器、观测天象、编制星表、制定历法，而对天文学理论问题，则大多是避而不谈。赵友钦却敢于面对这些困难问题，提出自己的认识。这里必须指出，赵友钦所继承的主要是唐宋以来的天文学知识，在元代仅限于授时历的内容。因此，用近代天文学的知识去分析《革象新书》的基本观点，难免有陈旧之感，但正如《四库全书提要》所说，其观点“或拘泥旧法，或自出新解。于测验亦多违失。然其覃思推究，颇亦发前人所未发，于今法为疏，于古法则为已密。在元以前谈天诸家，犹为有心得者。”



(1)对于盖天说的批判。赵友钦是竭力主张浑天说的，他曾写出“盖天舛理”一篇，以若干条证据来批判盖天说的错误，其中以恒星出没的事实，批驳得尤其有力。依盖天说，“近日之星常隐，近月之星常见。隐见平分周天之半。”但是，夏至时北斗星与日近，却终夜常明；此时日躔东井，其周围的娄、胃、张、翼诸宿，都在半周天内，却晨昏都能见到。由此可证盖天之理是不通的。

赵友钦以盛半球之水的蹴球来比喻浑天说，球中置一木板比拟人间地平，虽然蹴球旋转不止，而人不知觉。这是自张衡以来最为流行的观点，是中国古代浑天思

---

① 见《重修革象新书》胡宗楙跋，续金华丛书本。



想的概括和总结。尽管在元代以前几乎从未有人直接提出过地为球形的观点，然而在隋唐时早就有人以具体观测结果来批判“千里差一寸”的错误论断；也曾有人指出，中原常隐地下之星在交州处便灿然可见。这些都与地平说的观点相矛盾。因此，赵友钦的天地结构理论是比较陈旧、缺乏创见精神的①。赵友钦虽然强调天形正圆、不如卵形，但却别出心裁地提出地上天多、地下天少的观点，遭到后世天文学家的批评。他认为，近地平处星稀且大、近天顶处星密且小，这便是天顶处的天球比地平处远的证据。不承认蒙气差的作用，这也是他认识上的一个局限性。

(2)对地中观点的批判。阳城为地中，这是中国古代天文学家传统的说法。晚至唐代的一行和元代的郭守敬，仍然沿用地中之说。究竟何为地中，没有一个统一明确的概念，大约认为阳城位于天地的中央。即它既位于大地的中央，又位于天球的中心。其他地方则不是偏南北，就是偏东西，所以古代天文学家大都讲究到阳城测取天文数据。赵友钦则以具体事实否定了阳城为地中的错误说法。他在《地域远近》中首先指出阳城并非四海之中，天下最高处在昆仑山，水向四面流去，其山距西 3 万余里，距东不及 2 万里，天下之地多在地中以西，四海之内，不中于阳城，中于四海者，乃天竺以北。观其纬度，阳城北极出地 36 度，钱塘、交、广则各不相同，并非定要北极出地 36 度才可算做地中。如果以各个不同方向来检验，则大致偏向东面的地方日出早，日落也早；偏西的地方日出迟，日落也迟；偏北冬夏昼夜差异更大，偏南冬夏昼夜差异渐小。因此，阳城为天地之中的观点皆不能成立。

(3)对日月大小远近的认识。天体附丽在天球之上，是中国古代较为传统的观点，因而天体是否有远近的不同，在概念上是模糊的。由于中国天文学家对交食十分重视，所以也偶而涉及交食的原理。虽然早在西汉时，刘向在《五经通义》中就曾指出日食是由于月亮掩蔽的道理，东汉王充在《论衡》中则明确指出“日在上，月在下”。但这种认识以后未得到进一步的发展。中国古代天文学家在论述天体的大小时，往往都是依据天体视面积的大小或亮度来判断的。通常的说法是日径和月径都为千里。



在这个问题上，只有赵友钦，才做出较为科学的解释和清楚的推理。他在《日月薄食》中说：

> 日体大，其道周围亦大。月体小，其道周围亦小。月道在日道内，亦犹小环在大环之中，日去人远，月去人近。月体因近视而比日体之大。月道因近视而比日道之广。亦由日道之比乎天道矣。

因此，直至赵友钦才第一次明确指出，月体实际远比日体小，只是由于月近、日

① 王廷相有“地在气中”的先进思想；元代有曾传入西域的地球仪。不过它似乎对中国的传统思想几乎没有发生任何影响，赵友钦大概也未听到地球仪之说。

远，月道在日道内，日月的视直径才大致相等。赵友钦也认识到天道更在日道外，由此不难理解，恒星要比月亮和太阳远得多。

(4)对于邵雍(1011—1077)运世之数的批判。邵雍为北宋唯心主义哲学家，著有《皇极经世》等书。他依据《易传》关于八卦形成的解释，虚构出一个宇宙构造的图式，认为太极永恒不变，天地万物则皆有消长，有始终，并依元会运世的周期做循环变化。他模拟历法中30天为1月、12月为1年的图式，设30年为1世，360年为1运，10800年为1会，129600年为1元。每经一元，天地及一切生物都将毁灭殆尽，并又重新产生，循环如初。

赵友钦对此批判说："是以一定之数推不齐之运，犹月皆大进，亦不置闰也，故历家不取其说。""世人多信其说，以愚观之，实不可推。"赵友钦肯定地指出，古代历家以七曜总会推求上元，由于没有定准而近世已被废除不用，现邵雍所设周期全无科学依据，那就更不可信了。

邵雍、朱熹所创立的唯心主义哲学理论，因受到统治阶级的扶持，成为宋元时代的正统，很少有人反对，赵友钦敢于针锋相对地进行批判，是有学识、有胆略的表现。他的这一行动，为后世进步学者所一致肯定。《十驾斋养新录》评论说："邵康节元会运世之数，后儒遵信，莫敢有异议者。独缘督讥其不可准，谓以诸家术求皇极之元，不特七政无总会之事，抑且散乱无伦。此真通人之论，非精于推步者不能知，非胸有定见者不能言也。"

2. 创立观测恒星入宿度和去极度的新方法

利用浑仪或简仪，可以测量天体的入宿度和去极度，但测量起来往往比较麻烦而且不易测得准确。为了克服这些缺点，赵友钦则完全撇开浑仪的构造特点，独立发明出一套测量天体的赤经、赤纬的简便方法，其原理完全类似于现代天文学上所用的子午环和天顶仪。赵友钦所设计的这两架仪器，可算是世界天文史上最早出现的子午仪和天顶仪。它无疑地是一项杰出的创造。现分别介绍如下：



(1)测经度法。仪器的主要部分是沿着子午线方向架起两块水平的平行木板，两板之间留出仅相隔三四分的一条狭缝，木板厚约5寸，人在板下1尺多的地方观测(若增加木板的厚度则可直接在板下观测)。另外设计一套特制的漏壶，每支壶箭分为146.5格，控制水的流速，使壶箭一昼夜浮沉100次。由于一昼夜天球旋转$365\frac{1}{4}$度，因此天转1度，箭移40格。一人在架下观测，当一星进入狭缝时，便即报告，守壶人视箭数和格数记之，便可求得该星距冬至点的经度或它的入宿度。为了提高观测精度，可应用四级漏壶和两个仪器同时观测。

这种观测方法的关键在于取得精密的计时和准确地判断中星的时刻。因此，要求将木板准确地对准子午线，狭缝选择得当和观测方法熟练。采用这套特制漏



壶的目的在于提高计时精度。

这种观测方法是十分方便的，只需一夜的时间，差不多就能观测出半个天球中各个主要恒星的经度。

(2)测纬度法。在地平上搭一与人高度相当的木架，在架上直立一个6尺的表；在表的北面置一个5尺多长的望筒，下端与表的根部连接，令其上端只能在子午面方向转动；在表的顶端沿南北方向开一孔；在孔下2尺左右的南面，沿水平方向置一约1丈的木板，在木板上适当的位置刻出91度多的刻度，与刻度相对应处打出一个个的小孔；制一根约2尺长、末端有眼的棍；用一根线通过表顶小孔，将望筒顶端与棍眼相联结，令望筒从上向下转过91度余时，与水平横木上91度余的刻度相对应；牵动带线的木棍，令望筒对准中天星，随即将木棍插入横板上相应的孔中，便可读出该星的去极度(或纬度)。

赵友钦测纬度仪的设计思想与天顶仪是完全类似的，所不同的仅是将天顶仪上的刻度盘展开，刻在一块平板上。

另外，赵友钦在《小罅光景》、《乾象周髀》等篇中，对光学和几何学方面的研究也有较大的成就，因与天文无直接关系，此处就不多介绍了。

(3)星表和星图的编制。赵友钦既然创立和设计出一套测定恒星经纬度的新仪器和新方法，自然是要做实际观测的，也肯定编制过星表。可惜这份星表未能保存下来，至少到目前为止尚未发现。

梅文鼎在为其胞弟梅文鼐著的《中西经星同异考》撰写的序文中说："余尝见元赵缘督友钦石刻图，阁道六星在河中，作磬折层阶之象。"从梅文鼎这简短的记载中即可看出，赵友钦是画过星图的，并且将这幅图作石刻保存到清代中期，为梅文鼎所见。"阁道六星在河中，作磬折层阶之象"，这是赵友钦星图的特点。因此，梅文鼎所见之星图，应是赵友钦依据本人所测星表绘制的。这可以作为赵友钦曾编制过星表的一个证据。



四、王祎和《重修革象新书》

王祎在《重修革象新书·序》中说：

> 其为言涉于芜冗鄙陋；反若昧其旨意之所在，予因为之纂次，削其支离，证其讹舛，釐其次等，挈其要领，于是辞益简而旨加明矣。

王祎的意图是部分地达到了的，他在《重修革象新书》中所改动的篇幅大约占原著的十分之二三，其中一部分是删除认为是次要累赘的文字；一部分是对原文重新改写；一部分是做文字的修改润色工作。例如，王祎对《经星定躔》《横度去极》等篇，都是完全做了改写的，篇名也改成《测经度法》《测纬度法》。改写之后，自然更

通俗一些，但也不无丢失精华之处，如《测经度法》仅载二板间“阔不及半寸”；而《经星定躔》则载“其阔不及半寸，约三四分。”又如原书第一篇《天道左旋》开头说：“古人仰观天象，遂知夜久而星移斗转，渐渐不同。”王祎则改名为《天体左旋》，又将这句话改为：“天体之运有常度而无停机。天非有体也，因星之所附丽，拟之为天之体耳。”赵友钦本无“天非有体”的认识，这是王祎主观加入的，不免失去原义。

《革象新书》载有三十三个篇名。但《永乐大典》仅录三十二篇，最后一篇《天文图说》仅存篇名，没有具体文字。疑作者本来就未能写完，故缺一篇。但在《重修革象新书》中却补足了这一篇，疑是王祎增补。

关于王祎的修订工作，前人早有评论。《四库全书简明目录》说：“王祎删定，其修饰字句较原本斐然可观，犹《新五代史》之于《旧五代史》也。”它对于王祎修订工作的评价是较高的。《四库全书提要》说：“祎序颇讥其芜冗鄙陋，然术数之家主于测算，未可以文章工拙相绳。又祎于天文星气虽亦究心，而儒者之兼通，终不及专门之本业。故二本所载，亦互有短长。”认为各有所长。《郑堂读书记》则说：“其修饰字句，较原本殊为简净。然术数主于测算，不论文词之佳恶。且文字之兼通，终不及专门之绝学，究竟仍以原本为胜焉。”后者仍信原著。各家评论略有出入，总之，二本各有所长的评论，应是较为确当的。

最后，我们对续金华丛书本《重修革象新书》也说几句。此本名曰《重修》，且载入王祎的序文，但基本是《四库全书》辑录的《永乐大典》的原本，也分五卷，各篇编排顺序与原本同，也插入有《四库》编者的按语。因此，名曰重修，实则原本。《四部总录天文编》评为“颠倒背谬，莫此为甚。”此是编者的失误。

（撰稿人：陈久金）





第七章　明代天文学家

第一节　马沙亦黑和马哈麻

《回回历法》和《明译天文书》是中国的天文名著。但人们对其译者马沙亦黑和马哈麻的生平事迹却一无所知。笔者从其后裔编撰的《马氏宗谱》等书中找到了线索，原来他们是亲兄弟。他们于明洪武二年(1369)随同父亲马德鲁丁自麦加到中国定居，并在回回司天监中担任领导职务。这两部译著，是其在任职期间的主要工作之一。

一、明初回回天文学的翻译工作

回回天文学，是中国天文学的一个分支，它是属于阿拉伯系统的天文学。自宋朝初年起，阿拉伯天文学就开始传入中国。元世祖至元四年(1267)，西域人札马鲁丁来华，并撰进万年历，稍颁行之。当时中国已有相当数量的伊斯兰教民，元朝政府为了团结这批人，便以官方的名义在他们中间颁行伊斯兰教历。并于至元八年(1271)建成回回司天台，于至元十七年(1280)设立回回司天监。在回回司天监工作的大多是西域人的后裔，他们仍然使用西域天文文献，他们的著作和观测记录也用西域文字书写。因此，在元朝的汉文文书档案中，几乎没有留下元上都回回司天监的文献。

元亡明兴，元上都的文书档案归明政府所有，其中也包括回回司天监中的200余册用西域文书写的天文著作。所谓西域文字，主要是指阿拉伯文和波斯文。明政府对回回天文学也很重视。洪武元年(1368)，征回回司天监黑的儿、阿都剌、蓝丞迭里月实等14人修订历数，第二年又征回回司天台官郑阿里等11人至京议历法。两批共25人，元末回回司天监的主要人才大约全都转入明钦天监工作①。在钦天监中设回回科，洪武十五年，原回回司天监黑的儿便以灵台郎的身份出现。

对于这批元司天监的西域文书，由于“言殊字异，无能知者”，朱元璋对此十分

① 据《明史·太祖本纪》在洪武二年以前明军只到北京，尚未攻克上都，这两批回回司天监的人员何时被征召尚存在疑问。



重视。《明译天文书》载吴伯宗序曰：

(洪武)十五年秋九月癸亥，上御奉天门，召翰林臣李翀，臣吴伯宗而谕之曰："……迩来西域阴阳家，推测天象至为精密，有验其纬度之法，又中国书之所未备，此其有关于天人甚大，宜译其书。……"遂召钦天监灵台郎臣海达尔，臣阿答兀丁，回回大师臣马沙亦黑，臣马哈麻等，咸至于廷。出所藏书，择其言天文阴阳历象者，次第译之。

于是在南京右顺门右边开局进行翻译，至洪武十六年(1383)二月，《天文书》译成，这就是人们所熟知的《明译天文书》，也称为《天文宝书》。

由于明太祖所指出"推测天象至为精密，有验其纬度之法"的工作尚未完成，编译工作当继续进行，至洪武十八年(1385)，经纬度算法译成，这就是人们所熟知的《回回历法》。贝琳在《七政推步》尾跋中说：

此书上古未尝有也。洪武十八年远夷归化，献土盘历法，预推六曜干犯，名曰经纬度，时历官元统去土盘，译为汉算，而书始行乎中国。

这里土盘历法就是指回回历。元统在洪武十七年(1384)为漏刻博士，曾将授时历改名为大统历，以洪武甲子为历元。元统于洪武二十二年(1389)始为监正。元统参与编译回回历的记载仅此一见。《四库提要》批评说："与史所载颇不合。按书中有西域岁前积至洪武甲子积若干算之语，甲子为洪武十七年，其时书已译行，贝琳之语非也。"古人常以甲子年选作历元，这是中国古代干支纪年的习俗，与哪年编译或哪年行用关系不大，《四库提要》批评不当。

如果对以上译作细加分析，就可知道它与马沙亦黑和马哈麻这两个关键人物密不可分，而以往人们对这两个人物所知甚少。



二、马德鲁丁等人的事迹及来华年代

我们偶然[①]从马德鲁丁后裔所收藏的"大测堂马"中堂挂轴(以下简称挂轴，见图7—1)[②]，才初次得知他们生平事迹的线索。原来他们父子四人于明初来华定居，父名马德鲁丁，其长子马沙亦黑，次子马哈麻，三子马哈沙。

1. 来华年代的考订

此挂轴说："公……精通天文数学，于明洪武二十年携三子赉贡来华，

---

① "大测堂马"中堂挂轴，大约作于20世纪二三十年代。有关明代马氏史料主要依据江南马哈麻后裔的传说。最近南京伊斯兰协会才从其遗裔处征集收藏。此挂轴系由南京伊斯兰协会杨毅所提供。本文以下所引《马氏宗谱》及《清真释疑补辑》，也均得其提示，可见他对三马早有研究。杨毅不愿著文，特此说明以志不忘。

② 此挂轴长264厘米，宽113厘米。对于研究回回天文学及其编译者来说，有一定的参考价值。

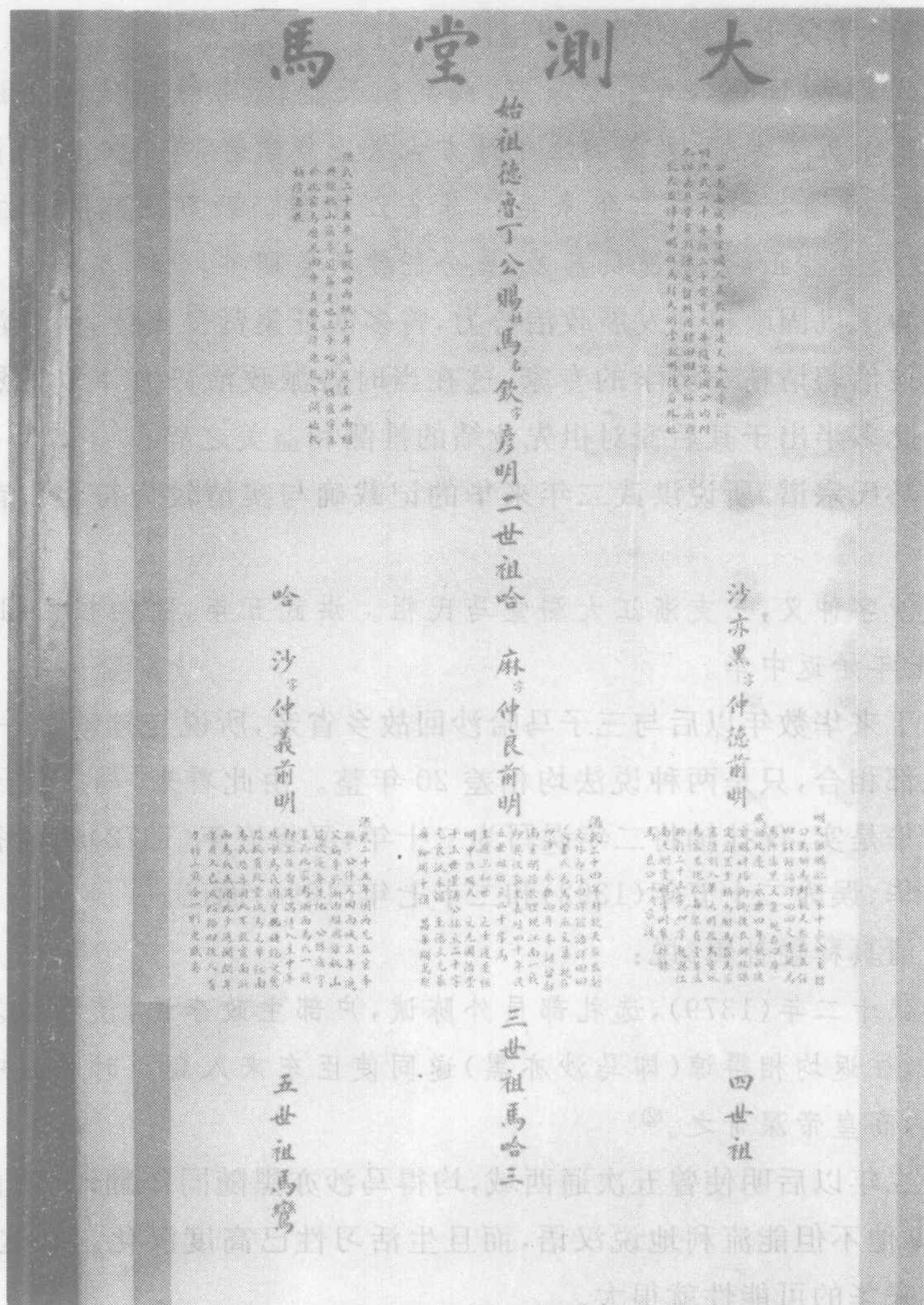


图 7－1　“大测堂马”挂轴

随宋国公内附。明太祖嘉其学有渊源，遂留朝用。”“洪武二十五年，乞假回西域，三年返。”

由于《明译天文书》载吴伯宗洪武十六年的序文中，言明太祖于洪武十五年(1382)已召见过马沙亦黑和马哈麻，则挂轴说其洪武二十年(1387)来华显然有误。又宋国公即冯胜，他很早就随朱元璋抗元起事，战功卓著。据《明史・太祖本纪》和《冯胜传》记载，他于洪武二十年征辽东纳哈出，很难想象马氏父子会转道至辽东依宋国公内附。因此，唯一的可能是挂轴所载年代有误。

民国十七年(1928),其后裔马良等编《聚真堂马氏宗谱》(以下简称《马氏宗谱》)①载马德鲁丁父子来华的目的和年代时说:

> 洪武元年(1368),为创立政府,成立钦天监,派钦使到阿拉伯满凯政府聘请精于历学专家,乃聘到准带地方古来氏族学者,即我来华始祖德鲁丁公,字彦明者,于洪武二年来至江苏省江宁县。明朝之南京成立钦天监,授钦天监监正,带来随员甚多,皆分任钦天监职务。

朱元璋为了巩固政权和发展政治势力,曾多次征集贤良出仕,但说洪武元年即派钦使到阿拉伯聘请精于历学的专家,这在当时各派政治势力斗争激烈的年月是不可能的。此多半出于其后裔对祖先业绩的推测和益美之辞。

然而,《马氏宗谱》所说洪武二年来华的记载确与实情较为符合。首先,《马氏宗谱》说:

> 哈沙字仲义,三支浙江大测堂马氏祖。洪武五年,随始祖回祖国,朝天房,七年始返中华。

马德鲁丁来华数年以后与三子马哈沙回故乡省亲,所说与挂轴是一致的,三年后返中华也都相合,只是两种说法均相差 20 年整。由此看来,马氏父子于洪武二年(1369)来华是实,仅挂轴将二年误写为二十年,又将五年(1372)回乡省亲和七年(1374)返中华,误为二十五年(1392)和二十七年(1394)而已。

其次,《清真释疑补辑》说:

> 洪武十二年(1379),选礼部员外陈诚,户部主政李暹,使西域。至其国凡五,往返均相得谅(即马沙亦黑)遂同使臣东来入觐。时举止吐属不类远人,高皇帝深奇之。②



洪武十二年以后明使曾五次通西域,均得马沙亦黑随同作翻译,举止吐属已不类远人,可见他不但能流利地说汉语,而且生活习性已高度汉化。从这点看,他们于洪武二年来华的可能性就很大。

再次,从洪武十五年马沙亦黑和马哈麻被朱元璋召见翻译西域天文书来看,也应在此之前早已来华。又因为马德鲁丁精通天文历数,其子的天文知识也都是他传授,而洪武十五年译天文书时没有提及马德鲁丁,此也正符合《马氏宗谱》说他死于洪武七年(1374)的记载。

从以上数条旁证来看,《马氏宗谱》有关马德鲁丁父子于洪武二年来华的记载

---

① 《聚真堂马氏宗谱》,北京民族文化宫图书馆有藏本。马良是马氏第十五代子孙,为马沙亦黑后裔。原为国民党将军,日军侵华时投降日军。其明代马氏史料主要依据北方马沙亦黑后裔的传说。

② 见《清真释疑补辑》第 113 页。此书不知作于何时,亦不载作者,有东鲁唐晋徽跋。我们所见为京都清真寺藏版,光绪辛巳(1881)春重镌版。南京伊斯兰协会有藏本。



是可信的。

弄清了马氏来华的年代以后，再回过头来看挂轴所说“随宋国公内附”这句话也就有意义了。据《明史·太祖本纪》，明于洪武元年才“大军平燕都，下晋、冀”，元帝趋上都。二年夏四月，冯胜至临洮，李思齐降；八月陕西平；九月，冯胜留总军事。可见明洪武元年平定华北，二年平定西北。而冯胜在平定西北时曾起到关键的作用，平定以后并留下做总领军事。元时西域与中国的交通和贸易主要由陆路进行，西北是必经之路，则马氏父子于洪武二年由陆路自西域到中国时，就必然先与冯胜发生联系。可见挂轴记载有所依据，只是年代有误。

2. 马德鲁丁在华活动与明初回回钦天监

> 挂轴说：“太祖嘉其学有渊源，遂留朝用，封回回大师府爵，钦天监博士，赐姓马，封大测堂，就明德后外姓。”

如果马德鲁丁任过钦天监博士，大概也是初到之时。博士位在五官正以下，地位并不高。惟封回回太师府爵，封大测堂，赐姓马，这是一件非常荣耀的事情。挂轴这段文字过于简略，很多事情尚不清楚，《马氏宗谱》对此做了更深入的阐发：

> （我祖）精通历学者，聘入中华，受职钦天监监正。明太祖尊我祖如师，晋封回回太师。因国势初定，关于建设多所顾问，而言听计从，大为刘基所忌。
>
> 我祖长子沙亦黑公，字仲德，招为驸马，赐配十三公主。因马皇后敬爱皇亲，且赐姓马氏，乃马皇后外家姓也。因我祖执掌钦天监，有测天文之学，皆称为大测先生，复蒙赐我马氏大测堂堂号。

这段文字交待清了马氏后代改以中国马姓的过程，并且说清了“大测”二字的意义。由于马德鲁丁是观测天文的大家，故得到大测先生的雅号，并由此被封给大测堂堂号。



此处值得注意的是说马德鲁丁当了钦天监监正，执掌钦天监事。以往一般认为，明朝只是在钦天监中附设回回科。如果是这样，则以上所说“执掌钦天监”就不可能。据《明史·刘基传》，早在元至正二十四年（1364）朱元璋即吴王位时，就“以基为太史令，上戊申大统历。”刘基于洪武四年“归老于乡”，死于洪武八年（1375）。而马德鲁丁于洪武二年来华，五年回故乡省亲，七年返中华，随即去世。如果与刘基有接触，也只有在洪武二年至四年内。马德鲁丁不可能接任刘基的监正职务。

但是，《明史·历志》有一段人们不大注意的文字，它说：

> 洪武元年改院为司天监，又置回回司天监。……三年改监为钦天。设四科，曰天文，曰漏刻，曰大统，曰回回历。……三十一年罢回回钦天监，其回回科仍旧。

人们常以为明朝只在钦天监中设回回科，并不注意明初也有回回钦天监。但据以上记载，自洪武元年成立回回司天监，三年改回回钦天监，一直工作到洪武三十一年(1398)为止。既有回回钦天监，就有监正，则《马氏宗谱》所说马德鲁丁曾任钦天监监正应为史实。其执掌时间大约是洪武二年至五年，后由其子马沙亦黑继任。既同时有两个钦天监，则《马氏宗谱》所言与刘基发生矛盾也就可以理解了。以后马哈麻译成《天文书》和马沙亦黑编译《回回历法》，与马德鲁丁回回钦天监的开创之功密不可分。

马德鲁丁不但精通历数，同时也深明伊斯兰教义。由于来自圣城麦加，自称清真嫡派，故深得明太祖的器重，被封为回回太师府爵。有关回回事务多所问顾，故称为回回大师。在马德鲁丁死后，其子马沙亦黑和马哈麻也都获得回回大师的称号。

3. 马德鲁丁故乡考辨

就文献记载而言，有关马德鲁丁的故乡有以下3处：

(1)撒马尔罕说

《清真释疑补辑》说："明吴谅，原名马沙亦黑，撒马尔罕国人也。洪武十二年，选吏部员外陈诚，户部主政李暹使西城，至其国凡五，往返均相得谅遂同使臣东来入觐。"

现代学术界也有人主张沙马亦黑是撒马尔罕人。撒马尔罕即汉唐时的康居或康国。是古时西域著名的大国。位于交通西域之要道，与中国的关系一直较为密切。自明洪武二十一年(1388)以后，大约每3年入贡一次。此说存在一些不合理之处。如果马沙亦黑确是撒马尔罕人，并且随同使臣往返故国多次，则《马氏宗谱》和挂轴不可能不提及此事，更不可能舍大而就小、舍近而就远地说他处为己故乡。从其后裔均不承认自己的祖先是撒马尔罕人，可推知撒马尔罕不可能是其故乡。此说应属主观猜测。另外，从《马氏宗谱》和中堂挂轴载其父子回乡探亲时来回均由海路，也可推知其故乡不在撒马尔罕。因为撒马尔罕距中国西境不远，为了要朝天方，回去时走海路理所当然；回来时再南下走海路就绕道了。



(2)鲁密说

挂轴说，"公为西域鲁密国人。"鲁密国不知何地。《明史·西域传》中有鲁迷国，疑鲁密即鲁迷，但也没有记载其明确的地址。陈诚于永乐年间遍访西域17国时也没有鲁迷之名。《明史·鲁迷传》说："鲁迷，去中国绝远。……"礼官席书等言："鲁迷不列王会，其真伪不可知。"已知回族学者马以愚据安徽《怀宁马氏宗谱》载其来华始祖马依泽为鲁穆(木)国人。他认为鲁穆即东罗马帝国的音译。则较为合理的解释是，鲁密原来是东罗马帝国的一部分，而后来成为伊斯兰国家的领土(图7—2)。由于罗马帝国在欧亚无不知晓，故仍自称鲁密。鲁密、鲁迷和鲁穆，为



同一地名的异译。

(3)满凯说

《马氏宗谱》说：

> 我马氏者，原系阿拉伯清真嫡派。……(明太祖)派钦使到阿拉伯满凯政府，聘请精于历学专家，乃聘到准带地方古来氏族学者，即我来华始祖德鲁丁公。阿拉伯准带地方，在满凯南百二十里。洪武五年，(马德鲁丁)偕哈沙公乞假回祖国，朝天房，七年始返。

在《马氏宗谱》中，将其故乡地址写得很详细。其家族原居住在满凯以南120里名叫准带的地方。又据《马氏宗谱》记载，马德鲁丁在故乡有妻室，因路途遥远，未带来中华。因此，这次他们一方面是回国省亲，一方面是到圣地麦加朝拜。此处的满凯即今天沙特阿拉伯首都麦加。在《明史》中写作默伽，又作天方。天房即天方，也即指麦加，《元史》即称天房[①]。准带疑即现在的吉达港。

由以上讨论可以看出，马德鲁丁父子原籍为麦加以南120里的准带地方。《马氏宗谱》所载应是较为可靠的。据《明史》所载鲁迷国与天方关系密切，因此，挂轴所载鲁密国，也许是同一地区的异称。

三、马沙亦黑的天文工作及其生平

1. 编译《回回历法》

回回历法包括太阴历、太阳历、日月五星行度的推算和日月食的预报四部分。如果单纯地把它理解为年月日的推算是不妥当的。实际上，主要的精华就在于后二部分。



流传下来有关明初翻译西域天文文献活动的记载，只有《明译天文书》吴伯宗的序。故后世都以吴序为据。但是，吴序写于洪武十六年，而回回历则编译于洪武十八年。故《明史·历志》的有关记载并不确当。

《明史·历志七》有关“回回历法”说：“(太祖)命翰林李翀、吴伯宗同回回大师马沙亦黑等译其书。”似乎翻译回回历的工作主要是吴伯宗做的，其实不然。据《明史·吴伯宗传》，洪武十五年，吴伯宗由翰林院检讨升任武英殿大学士，洪武十六年冬因坐其弟事又降为原职。可见当时只因其地位而得太祖召见，并因此当第二年《天文书》译成后为之作序，具体的翻译工作，实际与吴伯宗并无密切关系。至于降职后编译的回回历，就更与他无关了。关于这点，在有些地方的记载是较为清楚的，例如《千顷堂书目》载：“明李翀、吴伯宗译马沙亦黑《回回历法》三卷”，汪曰桢

① 关于古代西域地名，请参阅冯承钧编、陆骏岭增订《西域地名》，中华书局，1982年。



图 7—2 “多桑蒙古史”中的鲁木图

《古今推步诸术考》也说“明马沙亦黑回回历”。李翀、吴伯宗不懂西域文字，说李翀、吴伯宗翻译，显然是据吴序附会。可见编译回回历法，主要是马沙亦黑的贡献。据贝琳《七政推步》尾跋说“元统去土盘译为汉算”，则元统可能参与其事的。

值得注意的是，诸字均说“马沙亦黑回回历”，而不说马沙亦黑译回回历。这种说法很确当，《回回历》应是马沙亦黑编撰的。我们所以这样说，可以《回回历》本身文字为据，它不但以明洪武甲子为历元，在正文中两次提及洪武甲子和洪武的年号，同时在叙述交食推算方法时还两次说：“求初亏、食甚、复圆方位，与大统法同。”大统法是明初使用的历法名称。所以回回历法，是翻译、编撰而成的。

吴伯宗在《明译天文书》序文中说：“臣等奉命惟谨，开局于右顺门之右，相与切摩，达厥本指，不敢有毫发增损。”这是对《明译天文书》而言，该书为星占书，独成一家言，故需忠实于原义。而推算五星行度和预报日月食的回回历法，则以务求合于天象为标准，故要求尽可能地改进其基本天文数据。回回历中很多天文数据都很精密，例如，据陈美东的研究结果：回回历所用回归年的精度远高于中国古代传统历法；而太阳远地点进动的概念及所测数据，更是中国传统历法所不备；从精度的总水平看，回回历法的五星会合周期和五星远日点进动值亦优于传统历法[①]。所以它差不多能够反映出明初世界天文学上的最高水平，估计他在编制《回回历》时，

① 见陈美东《回回历法中若干天文数据之研究》，《自然科学史研究》，1986 年第 1 期。



曾经利用了当代最新的观测结果，包括元回回司天监和阿拉伯人的观测工作在内。因此我们认为，如果把《回回历》仅仅看作是札马鲁丁自阿拉伯传入中土的西域天文著作的译作，那是不妥当的。它融汇了阿拉伯天文学和中国回回天文学发展的最高成就，它是在中国境内完成的。

又《七政推步》所说："远夷归化，献土盘历法，预推六曜干犯，名曰经纬度"，其内容都载在《回回历法》中。因此，后来编译回回历的参考文献主要是远夷献的，并不是出自元司天监所藏。而献土盘历法的这些远夷，应该就是马氏父子。可见马氏父子对于回回历法的诞生起到了关键性的作用。

2. 招为十三公主驸马真相辨析

《明史》无有关记载，仅见挂轴和《马氏宗谱》。挂轴说：

> 明太祖赐配其第十三公主，招公为驸马。……成祖北迁，永乐四年(1406)，钦取进京，赐砖塔胡同。后在河北保定府置业，称为驸马庄马家寨。清朝入华之时，改为空城马家寨。

挂轴具体指出了赐配的是第十三公主，并注明成祖朝赐宅北京砖塔胡同。老年移居保定时居所仍称驸马庄。以上所引《马氏宗谱》的记载也相类似。说明之所以得到被赐姓马的殊荣，是因皇亲国戚的关系。

但是，《明史·公主传》说："十三公主，早薨。"而没有说招谁为驸马。这种记载可以理解为没有结婚就已去世，但也可以只理解为早死，而不管其结婚与否。从《马氏宗谱》有关记载十分详细和具体来看，马沙亦黑曾被赐配为十三公主驸马，这件事应是可信的。

《马氏宗谱》又说：

> (马沙亦黑)于永乐四年钦天监迁移北京而来至北方(《清真释疑补辑》谓"乐永三年随驾迁于燕京"，赐北京西城砖塔胡同地方，为驸马府)。在永乐朝亦封为回回太师。……当仲德公秋高之际，因告老休养。见我马氏族大人多，乃为迴避北京繁华之区，在保定徐水县燕南赵北之间，购地建筑马家寨。规模宏大，其状如城。



看来，明成祖夺取政权以后，尽管十三公主早死，马沙亦黑仍以皇亲身份随驾至京，在北京砖塔胡同建立驸马府。其告老定居保定以后，仍称驸马庄。

又《清真释疑补辑》说："谅(即马沙亦黑)立朝率真无机缄，上每以长者目之。成祖虽盛怒时，辄敢矢诚规谏，帝竟霁威容纳之。"按《清真释疑补辑》的记载，当时马沙亦黑在钦天监仅是五官灵台郎的低级官员，看来成祖确实是以回回太师和皇亲的特殊身份看待的。

3. 马沙亦黑的生平事迹

据以上讨论可知，马沙亦黑又名吴谅，字仲德，兄弟三人随其父于明洪武二年

自中国西北部入境，或想以艺谋职，或到中国经商。正逢明政权初步建立，为巩固政权，需征集人才，马氏父子以擅长伊斯兰天文学而被宋国公荐于朝用。于是马氏父子献土盘历法。由于学有渊源，马德鲁丁被授予回回钦天监监正，马沙亦黑兄弟等也在回回钦天监供职，曾任漏刻博士等。

据《清真释疑补辑》说："时(马沙亦黑)举止吐属不类远人，高皇帝深奇之。命制浑天仪，以正前代得失，授为刻漏博士，所著法象书数篇。"大约马沙亦黑来华数年以后，由于刻苦学习，不但精通汉语，完全汉化，即使汉文也达到相当水平。故于洪武十二年(1379)以后，明朝政府为了交通西域，曾数次派使至西域，并得马沙亦黑随同。正因为深得朱元璋的赏识，才被招为驸马。至于马沙亦黑是否制造过西域天文仪器，并著《法象书》，今无可查证。

马德鲁丁在华期间，曾被授为回回太师府爵。马德鲁丁死后，马沙亦黑继承了这个爵位。随成祖北迁以后，仍为回回太师。太师一职，有高位而无实权，至于回回太师，大约属于有关回回宗教文化方面的顾问和咨询官之类。

马德鲁丁死后，马沙亦黑接任回回钦天监监正，并兼四译馆教习。编译《回回历法》，是其任职时所做的主要工作。朱元璋于洪武三十一年去世，随即回回钦天监被废。马沙亦黑随成祖北迁以后，在钦天监任五官灵台郎。

四、马哈麻的天文工作及其生平

如前所述，《明译天文书》有的版本不署译者，仅载吴伯宗序，有的版本则载马哈麻译。看来，此书为马哈麻主译应无疑义。同时，还有署以马哈麻译，题为《乾方秘书》①和《天文象宗西占》②的抄本。对比其内容，与《明译天文书》大体一致，仅个别地方略有不同。可见其为同一本书，仅书名不同而已。



历代帝王对于星占都十分迷信，当明太祖得知西域有星占书，并且知其占法与中国不同以后，便命吴伯宗组织人翻译，可供"以时披阅，庶几观象可以省躬修德，思患预防，顺天心，立民命焉。"(见吴序引文)吴伯宗也在书序中说："是书远出夷裔，在元世百有余年，晦而弗显。今遇圣明，表而为中国之用，备一家之言，何其幸也。……与中国圣贤之书，并传并用，岂惟有补于当今，抑亦有功于万世云。"

除掉吴伯宗的"译序"以外，还另有一篇"天文书序"，涵分楼秘籍以及近世的版本均将其称之为"原序"。据此称呼，似乎这篇序文在原来的西域文书中即有。被称为原序的《天文书序》未载序文作者，这种反常现象令人生疑。但在书名为《天文象宗西

---

① 马哈麻译《乾方秘书》，在北京图书馆见有抄本。

② 马哈麻译《天文象宗西占》，在北京大学图书馆有抄本。又美国国会图书馆收藏有《象宗书》四卷，也为马哈麻译。估计为同一本书。



占》一书中，也都载有这两篇序，只是“天文书序”后明载“灵台郎臣马哈麻译西域经书序”。可见“天文书序”也是另一篇“译序”而非阔识牙耳写书时的原序，它是马哈麻在译成《天文书》以后所作。因此，此书在刻版时是有意隐去马哈麻的姓名而做出删改的。与马沙亦黑编译《回回历法》不同，马哈麻在《天文书序》中明确说明此书的作者是阔识牙耳(971—1029)，由此也可间接证明《回回历法》属于译编性质。

《明译天文书》与《天文象宗西占》都分为四大类，不同之处仅在于《天文象宗西占》在每一类之前都另加一小标题，第一、二、四类题为“天文象宗西占”，第三类题以“天文义和原本”。故合称《天文象宗西占》。

值得重视的是，在《明译天文书》中，包含有许多中国人所不熟悉的阿拉伯天文知识，尤其在《说杂星性情》一节，第一次介绍了20个阿拉伯星座的名称和30颗恒星的星等和黄经，这是西方星等概念首次传入中国。经过对比研究，这30颗恒星的黄经与至今仍保存在欧洲的阔识牙耳的《完备的天文表》中的数值完全相同。

由以上讨论可知，马哈麻字仲良，自明洪武二年与其父兄来到中国以后，他大约一直都在回回钦天监中任职。据《天文书序》，洪武十六年以前即任灵台郎。译出之西域《天文书》是其最主要的工作成就。《马氏宗谱》在记载马哈麻生平时说：“哈麻，字仲良，妻胡氏，二支江苏大测堂马氏祖。明太祖朝授钦天监监副，诰授文林郎。著作宏富。”文林郎为进行著作和校理典籍的官员，为正七品。值得注意的是，《马氏宗谱》说其在太祖朝曾任钦天监监副，这里当然是指回回钦天监。

关于这点，在“大测堂马”挂轴中记载得更为具体。它说：“洪武二十四年，封钦天监监副，文林郎，任四译馆，翻译回回文书，成为马哈麻文集(现存四库)。永乐四年，奉诏留驻南京，阐扬教理。”这就是说，马哈麻任回回钦天监监副的年代为洪武二十四年，直至洪武三十一年回回钦天监解散为止。永乐朝时，马哈麻大约仍在南京钦天监任职，分管回回科。



(撰稿人：陈久金)

第二节　贝　琳

一、贝琳的生平和天文工作

贝琳在《明史》中无传，《畴人传》的记载也极简略，仅地方志中有些记载。其中以同治年间编撰的《上江两县志》卷二十八记载得较为详细，现引录如下：

贝琳，字宗器，号竹溪拙叟。为上元人，居成贤街。琳幼颖发，思脱戎

籍，遂往北京，投太仆少卿廖义仲、钦天监五官灵台郎臧珩、司历何洪求天象之学，得充天文生、正统己巳边警，监正皇甫仲和荐琳，随昌平侯杨珙至独石。景泰庚午随总兵石亨抵贺兰山。壬申随右都御史王翱征洮水。其占候多有功，授漏刻博士。天顺改元，因天象示警，奏对称制，赐彩缎白金，升五官灵台郎。成化庚寅升监副。壬辰改任南都，与弟珙居武定桥西。自琳以天文起家，次鹏，次仁，次畮，次尚质，次元桢，七世以天文相终始。畮字西山，著《历法要览》十二卷，历书小帙数种。康熙中有名国珍者，与梅定九交善，其历法诸书，定九多所采择。故《历算记》云："《回回历法》刻于贝琳，其布立成，以太阴而起，距算以太阳年，巧藏根数。"贝氏为金陵天文家，乃志乘漏其名氏。惟路鸿休《明代人文略》言之最详。琳书得采入《四库》，惜畮书不传。

上江为上元和江宁两县的简称，古代曾将江宁（今南京市）分为上元县和江宁县治理，故有《上江两县志》的书名。贝琳字宗器，号竹溪拙叟。祖先是浙江定海人，后迁居上元。据《上江两县志》记载，其祖上世代在军籍，至贝琳时想离开军籍，便到北京学习天文，曾拜好几个学者为师，后得充天文生，他主要得到司历博士何洪的指导，打下了天文历法方面的基础。明正统、景泰年间（1436—1456），因边防吃紧，贝琳被推荐到军队中服务，主要担任行军占卜方面的事情，工作受到嘉奖。英宗天顺元年（1457），回到钦天监任漏刻博士之职。因天象示警，被英宗召见，受到赏识，升为五官灵台郎。又于 1470 年升任监副。任监副后的第三年（1472），被派往南京任监副。从此便定居南京。

古代的天文学家，因有家学的传授，大都有继承父业的习惯，自从贝琳在天文上获得成功以后，其后代便一直继承父业，以鹏、仁、畮、尚质、元桢等七代相继从事天文工作，一直到明亡为止。贝琳以编译《七政推步》而著称，关于其后代在天文方面的成就，清光绪年间编写的《金陵通传》卷十记载得较为详细：



贝琳，著有《七政推步》七卷；贝琳子鹏；鹏子仁，字静斋，一字澹然，由天文生授漏刻博士；仁子畮（字西山，著《历法要览》十二卷）；畮子尚质，字敬山，号菊卷，亦官漏刻科博士；尚质子元桢，字明吾；元桢子字仕，字振宇。皆天文生。凡七世以推步与明代相终始。

《开有益斋读书志》和《上江两县志》均载贝琳七世与明相终始，但均缺最后一代的名字，《金陵通传》补载这一代的名字叫字仕。其第三代和第五代均担任过漏刻博士的官职，漏刻为其世传的家学，故《上江两县志》说"乃志乘漏其名氏。"第四代还著《历法要览》一书，现已失传。

根据以上记载和分析，我们对贝琳的家世已有了一个大致的了解。他的祖上



因隶军籍而自浙江定海迁居南京。贝琳幼年时便勤奋好学，熟悉儒学。因想要脱离军籍生活而改学天文，学成以后在军队中从事行军占卜工作数年，回到北京钦天监任漏刻博士，升任五官灵台郎和监副以后，改为南京钦天监任监副。明代钦天监中的天文学家大多墨守成规，无所作为，贝琳却是一位具有进取精神的人，就这点而言，在明代的天文学家中，他可算是一位出类拔萃的人才。正因为这样，他才能彻底弄懂回回历法，并在此基础上进一步综合整理，编写出《七政推步》这部书。

关于《七政推步》与《回回历法》之间的关系，在《明史·历志七》中有如下的一段记载：

惟回回历设科……胜于九执、万年远矣。但其书多脱误。盖其人之隶籍台官者，类以土盘布算，仍用其本国之书。……今为博访专门之裔，考究其原书，以补其脱落，正其讹舛，为《回回历法》，著于篇。

这段话是说《明史·历志》的作者在编写《回回历法》时，先找到明初马沙亦黑等翻译的原稿，发现多有脱误，又请专家补正，才著于篇。但是薮内清却以为早在元初时就有回回历的汉文译稿，此处的"究其原书"，就是元初汉译本的残存稿。明初的"远夷"又带来了新本，经元统再次译为汉算，后又经过贝琳和朝鲜的李纯之等分别整理编撰，写成《七政推步》和《李朝实录·七政算外篇》。而元译稿经清人整理后载在《明史·历志》。《回回历法》与《七政推步》和《七政算外篇》的细微差别，即在于不同的来源[①]。

我们并不同意薮内清的说法。元朝时并没有汉译《回回历法》。据《明史·历志》记载："洪武初，得其书(《回回历法》)于元都。"十五年秋，太祖"命翰林李翀、吴伯宗同回回大师马沙亦黑等译其书。"此书以洪武甲子(即洪武十七年，即1384年)为截元。因此，《回回历法》大约在洪武十七年就已译成汉文。从此，我国才开始有了《回回历法》的汉文译本。



《畴人传·吴伯宗》也说：

洪武初，大将军平元都，收其图籍经传子史凡若干万卷，悉上京师。其间西域书数百册。言殊字异，无能知者。十五年秋九月癸亥，上御奉天门，召翰林臣李翀臣吴伯宗而谕之曰："……迩来西域阴阳家推测天象，至为精密，有验其纬度之法，又中国书之所未备，此其有关于天人甚大，宜译其书。"……出所藏书，择其言天文阴阳历象者，次第译之。

由于平元都所得西域天文书数百册"言殊字异，无能知者"，才有洪武十五年朱元璋命令翻译"有验其纬度之法，又中国书之所未备"的西域天文历法著作。又明

① 薮内清：《回回历解》，日本《东方学报》，京都36(创立35周年纪念论文集)，1964年10月。

刊本贝琳《七政推步·志》云：

> 此书上古未有也。洪武十一年，远夷归化，献土盘历法，预推六曜干犯，名曰经纬度。时历官元统，去土盘译为汉算，而书始行于中国。岁久湮没。予任监副，于成化六年具奏修补。蒙准。至十三年而书始备。

《明史·历志》和贝琳《七政推步·志》都说这种历法是明代洪武年间才译为汉算的。但在具体细节上却似乎有较大出入。《明史》说是吴伯宗、李翀与马沙亦黑翻译；贝琳则说是元统翻译的。

但事实上二者所说的是一回事。据《畴人传·吴伯宗》记载，洪武十五年，明太祖在奉天门召见大学士吴伯宗和翰林李翀，命令翻译西域天文书。组织了钦天监灵台郎海达尔、阿答兀丁，回回大师马沙亦黑、马哈麻等，在南京右顺门开局，共同翻译西域天文阴阳历象，次第译之。第二年，天文书首先译出，明太祖命吴伯宗作序。《回回历法》大约也是随后不久译成的。其中吴伯宗、李翀主要是起到组织和领导的作用，而具体翻译工作则由钦天监的工作人员承担。当时，元统在钦天监任漏刻博士①。看来，将回回历译为汉算的工作，主要是由元统与回回大师合作下完成的。由于当时元统的职务微不足道，因此在正史中便将翻译的成就全都算在领导这一翻译工作的吴伯宗和李翀名下了。但钦天监的文献却记下了元统的翻译工作。因贝琳在钦天监工作，所以能见到这种记录。因此，《明史·历志》和《七政推步·志》记载都是正确的，说的是同一件事情，只不过《明史》依据的是官方档案，贝琳则取自钦天监的记录。

“土盘历法”实即伊斯兰历法的代称。伊斯兰历法学习了印度的计算方法，用印度数码在沙盘里进行演算，人们就将这种演算方法称之为土盘算法。今本《七政推步·跋》中也有关于“远夷归化，献土盘历法”的记载。与《七政推步·志》的内容几乎完全一致，但今本《七政推步·跋》把十一年写为十八年。从各种情况进行判断，此处的十八年可能是十一年之误。

成化六年，贝琳开始编修《七政推步》，十三年完成，计七卷。贝琳在《七政推步·志》中提及编修《七政推步》的原因时说，虽然在明初已将“土盘译为汉算”，但“岁久湮没”。《四库全书总目提要》也说，“其法本以土盘布算，用本国之书。明初译汉之后，传习颇寡。故无所校雠，讹脱尤甚。”这就是说，伊斯兰历自传入中国以后，一直都是由回回大师以阿拉伯文所写的历书为依据，以土盘算法进行推算的。译为汉算的回回历未起多大作用。所以“岁久湮没”，“传习颇寡”，“无所校雠”，“讹脱尤甚”。因此，汉译回回历书仍有失传的可能，面对这种情况，贝琳才决心付出七

① 见《畴人传·元统》。



年的时间，重新编修回回历。并将其刊刻成书，使得后世得以流传。

二、《七政推步》在天文学上的贡献

从史书记载来看，贝琳在天文学上的贡献都与回回天文学有关，现介绍如下。

1. 保存和编修了《回回历法》

《回回历法》虽然在明朝洪武年间被翻译成汉文，但也仅仅是一份手稿而已，并未得以印刷出版。中国的知识分子对回回历是很少关心的。即使在钦天监中，除掉回回历官以外，其他人也很少懂得回回历。而在钦天监中工作的回回天文学家，在推算天体的行度和回回历谱时，仍然依据阿拉伯文的历书，并不去过问那份汉文《回回历法》的手稿。这种情况一直延续到成化年间。

贝琳进入钦天监以后，便开始注意研究回回历法，并且注意到这份汉文《回回历法》的手稿。以梅文鼎《历算书记》的说法是，“明初译汉以后，传习颇寡，故无所校雠，讹脱尤甚”。因此，贝琳每虑“岁久湮没”，“废弛而失真传”，所以于成化六年上书奏请编修《回回历法》。“蒙准。至十三年而书始备。”

在明刊本《回回历法》中，载有贝琳写的《志》，这说明当时不仅刊刻了《七政推步》，同时也保存了《回回历法》的手稿。以后为《明史・历志》的作者引载在志中。故阿拉伯文的《回回历法》虽然湮没了，但由于贝琳的工作，汉文《回回历法》却得以保存至今，这是与贝琳的努力分不开的。

2. 重新整理编修了《回回历法》

就数据和内容来说，《七政推步》与《回回历法》完全一致，几乎没有什么差别。但《七政推步》是在《回回历法》的基础上，重新做了文字上的整理和加工的，因而也就更为系统和明确。例如，在《回回历法》释七曜和宫日中，仅给出了七曜的序名和十二宫的宫名及各宫日数，但在《七政推步》中，不仅给出了以上的名称和数据，同时也给出七曜和十二月名的本音名号。现将这些本音名号引录如下[①]：

一月大名法而斡而丁

三月大名虎而达

五月大名木而达

七月大名列黑而

九月大名阿咱而

十一月大名八哈慢

日一数名也闪别

① 见《七政推步》四库珍本页三。



火三数名写闪别

木五数名盘闪别

土七数名阙闪别

二月小名阿而的必喜世

四月小名提而

六月小名沙合列翰而

八月小名阿斑

十月小名答亦

十二月小名亦思番达而麻的

月二数名都闪别

水四数名察儿闪别

金六数名阿的那

经查对，这些十二月名和七曜日名的本音名号属于波斯文[①]。这一点很有意义，札马鲁丁来自花剌子模，是属于古代波斯的一部分。札马鲁丁讲波斯语，兼用波斯太阳历，那是很自然的事情。这也可以看作回回历与札马鲁丁有关的又一条证据。

又例如，《回回历法》仅介绍回回历本身的宫分闰日和月分闰日的求法，不及其他。但在《七政推步》中，介绍完回回历的求法以后，还介绍有中国闰月的求法，此处中国闰月的求法，自然是指授时历法。

3. 增加了10份历算表

在历法中，为了求得各年民用历书以及日月五星的位置，预报日月食等，常常需进行大量的计算。为了避免今后重复运算，简化运算手续，很快地求出所需要的数值，在历表中往往给出许多数表，用时只需查找一下即可。这些数表在回回历中称之为“立成”，不需做繁复运算，只要查找一下立即就能得到的意思。

在《回回历法》中，总共给出了二十九份立成表，为了对比的需要，现将表名引录如下：

(一)太阳加减立成

(二)太阴经度第一加减比敷立成

(三)太阴第二加减远近立成

(四)太阴黄道南北纬度立成

(五)太阴出入辰昏加减立成

(六)至(二十)五星第一加减比敷第二加减远近立成

---

① 参见《中国大百科全书·天文学·伊斯兰历法》。



(二十一)五星伏见立成

(二十二)五星顺留立成

(二十三)五星退留立成

(二十四)西域昼夜时立成

(二十五)昼夜加减差立成

(二十六)太阳太阴昼夜时行影径分立成

(二十七)经纬加减差立成

(二十八)时差加减立成

(二十九)太阴凌犯时刻立成

回回历给出了这么多的数表，自然大大减轻了运算的工作量。但是，实际运算时还有许多繁复的计算工作要做，钦天监的回回历工作人员为了实际运算的简便起见，又不断加进了一些新的数表。后来这些数表便都收集补充在《七政推步》中，共有十份，现引录如下：

(一)日五星中行总年立成

(二)日五星中行零年立成

(三)日五星中行月分立成

(四)日五星中行日分立成

(五)日躔交十二宫初日立成

(六)太阴经度总年立成

(七)太阴经度零年立成

(八)太阴经度月分立成

(九)太阴经度日躔交十二宫初日立成

(十)太阴经度日分立成



由于增加了这十份数表，用《七政推步》推算起来，比原先的《回回历法》要更简捷一些，也就更符合实际运用。

必须指出，收集在《明史·历志》中回回历数表的排列方式，与早先的《回回历法》和《七政推步》都是不同的。《明史·历志》在“太阳加减立成”下有如下说明：“原本宫纵立首行，度横列上行”。“其加减分，乃本度加减差与次度加减差之较也。今去之，止立加减差数。”“用顺逆查之，得数无异，而简捷过之。月五星加减立成准此。”

因此，可以肯定地说，《明史·历志》中所列回回历立成表是写《明史》时改编的。也可能已受到《崇祯历书》数表编排方式的影响。

4. 刊载第一份中西星名对照表

在《七政推步》中，载有一份称之为《黄道南北各象内外星经纬度立成》的表，其

中载有 277 颗恒星的中西星名、黄经、黄纬和星等。这是有史以来人们为中西星名对译工作所做的第一次尝试。它对于中西天文学交流无疑将起到十分积极的促进作用。关于这份星表价值和意义，我们将在下一节中做专门讨论。

5. 13 幅黄道坐标的星图

在《七政推步》中，还刊载有 13 幅黄道坐标的星图。这种星图的画法，在中国也是首次出现。这 13 幅图是属于沿黄道附近的分区图，它包括毕、井、鬼、轩辕、太微、角、亢、氐、房、心、斗、建星、牛、垒壁阵 14 个星座，除房、心二宿合为一图外，其余都是一个星座为一幅图。星图的画法是除特殊情况外，通常都以黄道为中心线，包括南北各 10 度的范围；经度的范围则依据星座的大小而有所不同，通常包括 17 度左右。由于是分区星图，刻画得相当准确。它分别以黄经黄纬作为纵横坐标，1 度一个格。各宿的恒星，都依据黄道坐标准确地画在图内。各恒星之间再以线连接起来。只需打开图一看，就能大致知道某宿中某颗恒星是黄经黄纬几度几分。很有直感，便于记忆。这些星图具有阿拉伯天文学的特点，因此，它无疑是在钦天监工作的回回天文家所作。

这 13 幅星图统称为凌犯入宿图，因此，它制作的目的很清楚，是为了星占的需要，中国历代封建王朝，都很重视天象观测，异常天象的出现，便认为是上帝的示警，是与政治有关的。其中月亮和五星对于若干星座的凌犯，就是观测的主要内容之一。以上 14 个星座便是观测月亮五星凌犯的主要对象。所以，回回天文家把这 14 个星座的星图特别画出来，以便进行认真研究和做出准确推算。

三、《七政推步》星表的贡献

《七政推步》中刊载有一份《黄道南北各象内外星经纬度立成》表。这份星表共载有 277 颗星，它是一份以黄道坐标表示的星表。它并不是全天星表，而是只记载黄道南北 10 度范围内计 15 个星座中的恒星。记载的项目包括阿拉伯星名、中国星名、黄经黄纬和星等 4 项。

在明初回民马哈麻等合译的《天文书》中，有“说杂星性情”[①]的一节，其中曾介绍了星分 6 等，这是西方星等概念在中国的初次出现。同时也介绍了 20 个星座计 30 颗恒星的黄经黄纬。这些数据，可能只是取自波斯天文学家阔识牙耳（971—1029）的《完备的天文表》，仅做了 60 年 1 度的岁差改正[②]。它还算不上一份正式的星表，因此，大量地刊载各恒星的星等、黄经黄纬这还是第一次，它是第一份中西合璧的真正的星表，具有较高的科学价值。

① 收集在《涵芬楼秘籍》中。

② 《中国天文学史》，科学出版社，1981 年，第 54 页。



在《七政推步》刊载这份表时，并未说明它的功用。但在其后紧接着载有“太阴凌犯时刻立成”和13幅“凌犯入宿图”。由此可以认为这份星表以及13幅星图的直接功用，应与判断月亮和五星对黄道星座的凌犯有关。由于月亮和五星运行偏离黄道的角度都在黄纬10度的范围，故这份星表和星图都只收录10度以内的星。10度以外的恒星在判断凌犯时无须考虑，故不收入。

朝鲜《李朝实录》卷一百五十六“七政算内篇”开头就说[①]：

> 世宗“又得回回历法，命李纯之、金淡考校之，乃知中原历官有差谬者，而更加闰正，为外篇，于是历法可谓无遗恨矣。”

《李朝实录》所载回回历法，包括求太阳、太阴、交食、五星和太阴五星凌犯五部分内容，这份星表收录在第五部分，可知它必为推算凌犯之目的而编排。在星表的后面，紧接着还载有“求月犯星座”、“求时刻”等方法，也就更能证明这一点。

到目前为止，学术界对这份星表尚缺少专门的研究。20世纪80年代初在厦门召开的中国天文学史的学术会议上，薄树人、陈鹰曾提交了一份题为《关于七政推步星表之研究》的报告，并散发了油印稿，对这份星表做了初步的分析研究。本节在撰写时也受到此文的启发。该文指出，这份星表可能受到伊儿汗表的影响，但不是伊儿汗表的复制品。计算表明，此星表的绝大部分星，大约测于1360年左右。因此，他们做出一个大胆的推测，这份星表可能是元末回回天文学家所测。

根据以往的研究表明，在众多的阿拉伯星表中，除掉15世纪的乌鲁伯格星表曾做过独立观测以外，其他星表全都是托勒密星表的延续，即对其做出简单的岁差改正，并未再次做过实测。但考察《七政推步》这份星表，与托勒密星表相比，不但黄经不存在简单的系统改正的情况，即使各个星的黄纬值，也与托勒密星表不同，所载星等也有多处与托勒密星表不一致，由此表明这份星表是经过独立观测的。这个结果有着重要的意义，值得引起人们的重视。



既然这份星表是回回天文学家所测，那么究竟测于什么时代呢？究竟是哪些人所测呢？为了解决这个问题，需要对回回历法的历史文献做出细致的分析。说这份星表测于元末的唯一依据是由岁差做出判断，它合于1360年前后的实际天象。熟悉历史的人们都知道，这个时期在中国已陷入全国的农民起义的混乱环境之中，当时的回回天文学家世代食用官方俸禄，无所作为，故这份星表不可能出自元代回回天文学家之手。

1368年，元朝政府在农民大起义的打击之下灭亡，建立了明朝政权。第二年即开始筹建回回司天监。这时候同时有好几位阿拉伯天文学家来到中国，并在回

---

① 《李朝实录》第11册，日本东京都笠井出版社，1957年，第357页。

回司天监中任职，这个司天监几年之后改名为回回钦天监，一直工作到建文帝接位时，才与另一个钦天监合并，合并之后，回回天文学者也一直在坚持工作。在回回钦天监中，出现了几位著名的天文学家，这就是马德鲁丁和他的两个儿子马沙亦黑和马哈麻。来到中国以后，他们在南京回回钦天监工作期间曾勤奋地从事天文观测，名声卓著，朱元璋也很赏识他们的成就，特地授予这个天文世家以“大测堂马”的光荣称号，他们的子孙很以此为荣，庄严地将其记载在家谱中，并专门写有“大测堂马”的中堂挂轴保留至今。这三位回回天文学家从事天文工作的主要年代为1369年至1399年，与依岁差推算出的这份星表的测定年代基本相合。

经过马沙亦黑和马哈麻兄弟等人的勤奋努力，于洪武十六年译出了《天文书》，又于洪武十八年译编了《回回历法》。大约由于时间匆忙，当时还来不及做更多更细的工作，其中一项重要内容《黄道南北各象内外星经纬度立成》就未能收入。等到这项困难的工作完成以后，才被贝琳收入《七政推步》之中。编制这份星表的困难不仅在于需进行独立测定各恒星位置的数据，还须作中、阿星名位置的相互认证工作。

为了使中、阿天文学家都能使用这份星表，星表的作者试图给出每颗恒星的阿拉伯名称和中国名称，但实际是中国的星座与阿拉伯星座并不等同，阿拉伯星座中有的星，在中国星表中并未收入；同样，中国星座中有的星，在阿拉伯星表中也存在并未收入的情况，这就使得对译星名出现具体困难。对于这个情况，在该星表中，凡在阿拉伯星表中没有出现过的星，便称之为“无像新译星”；阿拉伯星表中有而中国星表中没有的星，则称之为“某某宿无名星”。据我们的统计，无像新译星计15颗；而在某宿名下冠以无名星的，几乎占一半。这似乎表明中国古代天文学家对黄道附近微星的研究还不及西方仔细。这277颗星的星等数统计如下：一等星4颗，二等星4颗，三等星35颗，四等星69颗，五等星88颗，六等星61颗，未列等级的16颗。



译载在星表中的15个阿拉伯星座名称如下：双鱼、宝瓶、摩羯、人马、天蝎、人蛇、天秤、双女、狮子、巨蟹、阴阳、人像、金牛、白羊、海兽。西方传统的十二宫星座名称已经全部载入，只是译名与现代略有出入。但其中人像、人蛇和海兽三座，则是近代西方星座中所没有的。为了配合中、阿星名位置的证认对照，在星表后面还附有毕、井、鬼、轩辕、太微、角、亢、氐、房、心、斗、建星、牛、垒壁阵14个中国星座，与星表配合使用起来是很有效的。经过中、阿天文学家的共同努力，做出了这份中、阿对照星表，这就大大消除了中西两大天文学系统在语言文字方面的障碍。

在《李朝实录》中也载有这份星表。查对《李朝实录》的这份星表所载黄经黄纬的数值，与《七政推步》所载完全一致。只是实录本星表在表头刊载有一段《七政推



步》中所未载的说明文字①：

> 各项经度，每五年加四分。〔回历元年至〕洪武丙子(1396)，积七百九十八算；〔自洪武辛未至丙子〕，以加四分，讫至辛巳年八百三算，又当加四分。累五年加之，至于永久。

"洪武丙子积七百九十八算"，即洪武丙子年为回历798年，"讫至辛巳年八百三算"，即至辛巳年为回历803年。这段文字是告知读者，在以后如何使用这份星表做凌犯计算。它明确指出，岁差每5年积4分，也就是说，它使用每75年差1度的标准，比《天文书》引载波斯阔识牙耳所使用的60年差1度的值要精密。这段文字已明确记载，这份星表的历元是洪武丙子年，离开编表的这一年辛巳(1401)，已过了5年，使用时应再加上4分的岁差。同时它还说明，这份星表不是原始星表，已做过加4分的改正，所以原始星表的实测时间应为洪武辛未年(1391)。也即这份星表的编成年代是洪武二十四年，比回回历法的成书要晚6年。它的测制年代与薄树人的理论推算有30年的误差。这个期间，也正是马沙亦黑担任回回钦天监监正、马哈麻任监副的时期。高丽李朝世宗于1419年至1450年在位，这份星表编成后约30余年，便传入朝鲜，并被记录下来，朝鲜天文学家的贡献不可埋没。

这份星表讨论至此，比以往人们的了解就要清楚得多。它是明初回回天文学家马沙亦黑、马哈麻为了开展太阴、五星凌犯预报和观测的需要编制的，它使用360的刻度制，用60进位，以黄道十二宫作为恒星坐标的标志点，并记载各星的星等，它完全是阿拉伯系统。这份星表的精度准确到分，比郭守敬所测恒星的精度还要准确一些。由于引进了西方星座和星名，它对于促进中西天文学的交流有着重要的意义。

这份星表在明朝时曾产生过重要影响，明末徐光启与西方传教士合作编译《崇祯历书》时，就曾得益于这份星表的工作。在他们的星表中，保持了这份星表的特点，采用了黄道坐标系、十二宫和星等概念，同时改正了这份星表的不足部分，补充到全天的恒星，计1347颗星，在保留黄道坐标的基础上，又增补了赤道坐标，扩大了应用范围。从此，中国天文学开始走向与西方相同体系的道路。回回天文学家的开创之功是值得表彰的。



四、与《七政算外篇》的对比研究

《回回历法》大约成书于洪武十八年(1385)，以洪武十七年甲子为截元。在实际使用过程中，发现还可以再增加一些立成数表，用以减轻实际推算中的工作量。后增加的10份算表，已被贝琳全部收在《七政推步》之中。除掉增加立成表以外，

①《李朝实录》，第11册，第560页。

为了推步月亮五星对恒星的凌犯，又编制了中西星名对照表和14幅黄道星图。同样也被收入《七政推步》之中。所有这些工作，大约均完成于洪武十五年至三十一年(1382—1398)之间。贝琳在编撰时对《回回历法》的译文做了修补和订正工作，同时也做了一些文字上的修饰。贝琳的这些工作大约完成于明成化六年至十三年(1470—1477)之间。

由于《七政推步》是明译《回回历法》的修订和补充，所以它的内容应比原译《回回历法》丰富和完善。但是，我们现今所能见到的载在《明史・历志》中的《回回历法》，是经过清代学者修订过的，其中有一段日月五星中心行度、自行度、最高行度、太阴经度、总零年宫月日七曜立成造法的说明文字，这段文字在《七政推步》和《李朝实录・七政算外篇》中都没有。这些立成造法说明虽然还只是初步的和不完善的，其中尤其是较复杂的立成造法没有加以说明，但它的出现，毕竟是首次说明立成造法的原理，在科学上是很有意义的。这可算是《回回历法》的一个特色。

1392年，李成桂统一朝鲜半岛，建立李朝政权，国号朝鲜，与明朝政府保持着名义上的臣属关系，其一切政府机构完全仿照中国官制。在李朝的统治下，朝鲜的科技文化达到了历史上的鼎盛时期。他们也建立有官方的天文历法机构，多次派遣学者到明朝学习科学技术，传播到朝鲜本土。其中天文历法知识，就是其学习的主要内容之一。他们学习了授时历和回回历，于李世宗在位时期(1419—1450)编成了《七政算内篇》和《七政算外篇》。

从时代来看，回回历法传入朝鲜大致是14世纪末至15世纪初。比《七政推步》的成书年代要早六七十年。因此，这两部书都是各自独立编成的，相互之间并未受到影响。就其内容而言，二者几乎完全一致。可见它们的文献资料都源于明初编译的回回历法，这三者是一脉相承的。



但是，实录本回回历并不是对明译《回回历法》做简单的抄录，而是经过认真的考校订正的，并且经过朝鲜学者自己的消化吸收后，按内容和计算顺序进行编排立成表，同时载有计算步骤和必要的说明文字。对比《回回历法》、《七政推步》和《七政算外篇》三部著作，给我们的印象似乎它们是三次不同的译作。有译作的原稿，这份原稿可能由马沙亦黑用阿拉伯文书写，《回回历法》的汉文译稿有可能是在元统与马沙亦黑的合作下完成的。《七政算外篇》和《七政推步》也可能是由李纯之、贝琳与回回科的后继回回天文学家依据马沙亦黑的阿拉伯文原稿合作分别翻译的。三者尽管计算步骤、计算方法和各项数据几乎完全一致，在行文上却并不相同。尽管《七政推步》与《回回历法》在计算步骤和行文方法上很为接近，但其文字方面的差别，似乎不能用简单的文字加工解释得了的。

至于《七政算外篇》与《回回历法》和《七政推步》的差别，那就更为明显。薮内



清在《回回历解》中曾正确地指出："实录本分别将立成和计算方法并载，比《七政推步》整齐完备。可以说在中国传统的历书体例中，只有实录本是改编出了中国的风格而又传达了汉译本的内容。"实录本不仅在行文体例上与其他二书不同，甚至在计算步骤上也做了较大的改革，所以我们可以这样说，实录本不可能只是对《回回历法》做文字上的改编，而是在明钦天监回回天文学家的帮助下重新做出的编译。

《七政算外篇》开头就按照中国历法的传统，给出历元、周天度、周岁、周月、月闰、宫闰、周应等基本数据。这是《七政算外篇》独有的特色。然后依太阳、太阴、交食、五星、太阴五星凌犯五个部分逐次分别介绍其推算方法，并随时插入必要的立成表。这种编排方式思路清楚，便于理解和学习。

尽管如此，并不是《七政算外篇》集中了回回历法的一切优点，这三部译著可以说各有优点，《回回历法》独具立成造法说明；《七政推步》和《七政算外篇》又补充了10份立成表和黄道星表；《七政算外篇》整齐完备，计算步骤和思路清楚划一，条理分明；《七政推步》独载释用数、释回回历法积年、释宫分日数、释月分大小、释七曜和释闰法等，对这些回回历法中所特有的内容做出了解释和说明，同时还独载13幅黄道星图。它的立成表之所以放在计算方法之后，是由于将日月五星共同的类似的用表用数汇编在一个表中，这种立成表的编排方式虽然对初学者带来困难和不便，却大大减少了各立成表的篇幅，这也是《七政推步》的特色。由于这三部书各具特色，互为补充，通过对它们的综合研究和整理之后，便能对回回历法了解得更为系统和透彻，对回回历法的研究提高到一个新的水平。

（撰稿人：陈久金）



第三节　朱载堉

朱载堉（1536—约1610），字伯勤，号句曲山人，明宗室郑恭王厚烷之子，是我国古代杰出的乐律学家。他发明了十二平均律，为音律学的发展作出了划时代的贡献。在悉心研究乐律的同时，朱载堉亦勤勉地研究天文历数之学，又是我国古代有作为的天文历法家。

他的天文历法研究成果，集中在《历学新说》一书中。该书包括《圣寿万年历》二卷，《万年历备考》三卷（《诸历冬至考》、《二至晷景考》和《古今交食考》各一卷），《律历融通》四卷（《黄钟历法》和《黄钟历议》各二卷），以及《进历书疏》和《进律历融通疏》二文。这些都是朱载堉在万历二十三年（1595）进献给明神宗的。

据《进历书疏》称：万年历与备考均系"臣近年新撰"，即约成于1593年前后。

黄钟历及其历议乃“臣昔年所撰”，而朱载堉所作《律历融通·序》撰于“万历九年正月吉日”，则黄钟历及其历议当撰于1581年以前。审该二历的术文，除万年历将黄钟历的“步律吕”和“步发敛”二篇的主要内容并而成为“步发敛”一篇，和因所设历元不同，若干天文数据有所变化外，并无什么差异。又，审该二历与授时历之间，亦大同小异，用朱载堉自己的话说：“其学大旨出于许衡，而与衡历（指授时历）不同”[①]，这些小异或不同，以及在备考、历议中所阐发的见解，便是朱载堉的研究心得。下面我们就来讨论这些差异及其意义。

一、回归年长度古今变化的研究

我国古代最早提出回归年长度值并非恒量，而是一个古大今小的变量的概念，并给予定量描述者，是南宋天文家杨忠辅。在统天历中，他建立了如下求任一年(t)回归年长度值(T)的公式：[②]

$$T=365.2425-0.000002116(t-1195) \quad (1)$$

元代郭守敬等在授时历中，接受了杨忠辅的概念，并对算式做了修正：

$$T=365.2425-0.0002t_0 \quad (2)$$

式中 t_0 为以1281年起算的整世纪数。

现代天文学告诉我们，回归年长度值的古今变化是确实存在的，其变化可以下式表达[③]：

$$T=365.24219878-0.0000000614(t-1900) \quad (3)$$

虽然杨忠辅和郭守敬等所给出的改正项比实际大30多倍，但他们从历代回归年长度测定值等的具体研究中，所得出的概念和进行定量描述的方向却是正确的。



“大统推步，悉本授时，惟去消长而已”[④]，即明代初年开始施行的大统历，仅是授时历的翻版，只将回归年长度的消长法革去不用。

朱载堉正是从授时历与大统历的这一差异中提出了问题：“大统与授时二历，相较考古，则气差二日，推今，则时差九刻，臣于此而疑焉。”[⑤]为此，他收集了“史官所记二至晷景凡六十条”资料，分别用授时与大统历法逐一进行验算，发现“授时历不合者十二，而先者多至于十，后者仅二”，“大统历不合者十八，而先一日者仅三，

① 《历学新说一·进历书疏》。

② 中山茂：《消长法研究》，载李国豪等：《中国科技史探索》，1986年，上海古籍出版社出版，第166～167页。

③ 中国科学院紫金山天文台：《中国天文年历》。

④ 《明史·历志五》。

⑤ 《历学新说一·讲历书疏》。



后一日者多至十三，后三日者二”。[1] 由此，他得出的结论是：“授时减分太峻，失之先天，大统不减，失之后天”，“授时近密，大统为疏”，但“授时未必全是，二历强弱之间，宜有所折衷”。[2]

于是，朱载堉做了求取消长新值的尝试。他特别重视“僖公五年（前 665）春王正月辛亥朔，日南至”和“昭公二十年（前 522）春王二月己丑，日南至”[3]这两条记录。他指出：“设若每年增损二秒，推而上之，则失昭公己丑；假如每年增损一秒至一秒半，则失僖公辛亥。二秒为过，一秒至一秒半为不及，酌取中数，每年增损一秒太，则僖公辛亥、昭公己丑皆得矣。”[4]所以，朱载堉选取了回归年长度每年消长 0.00000175 日的新数值。

朱载堉还对式(2)所示每经百年消长 0.0002 日的算法提出异议：“授时历谓上考往古，每百年于岁实加一分，下求将来减亦如之。窃以此言过矣。夫阴阳消长之理，以渐而积者也，先自一秒积至十秒，复自十秒积至一分，未有不从秒起，便至分者。授时历于百年之际顿加一分，考古冬至虽或偶中，揆之于理，实有未然。”对于授时历的这一批评是颇为中肯的。

在进行这些研究的基础上，朱载堉批判地继承了杨忠辅、郭守敬等人的成果，建立了新的算式。

在万年历中，设历元（1554）前 4560（称为“元纪”[5]）年即公元前 3007 年的回归年长度为 365.25 日，则其算式为：

$$T=365.25-0.00000175(t+3006) \tag{4}$$

在黄钟历中，设历元（1581）前 300（称为“律限”[6]）年即 1281 年的回归年长度为 365.2425 日，则其算式为：

$$T=365.2425-0.00000175(t-1281) \tag{5}$$



式(4)和式(5)基本上是等价的，依之计算，T 值仅有约 0.000002 日之差。

这样，朱载堉既纠正了郭守敬等人消长法的不当之处，又坚持了杨忠辅所开拓的正确方向，而且所取消长新值较杨忠辅和郭守敬等人为佳，在探索回归年长度古今变化规律的道路上迈进了一步。

---

① 《历学新说三・二至晷景考》。
② 《历学新说一・进历书疏》。
③ 《左传・僖公五年》和《左传・昭公二十年》。
④ 《历学新说七・岁余》。
⑤ 《历学新说一・步发敛》。
⑥ 《历学新说五・步律吕》。

二、黄钟历和万年历若干天文数据的精度分析

黄钟历和万年历所取用的许多天文常数与授时历相同，如朔望月、近点月、交点月、恒星月长度，赤道岁差、黄赤交角值等，其精度与授时历没有什么差异。但也有若干天文数据则不同，如回归年长度值即为明显的一例。

依式(4)和式(5)，可以算得万年历和黄钟历表面历元年回归年长度值分别为 365.2420200 和 365.2419750 日，它们可视为该二历所取回归年长度的代表值。又依式(3)可算得该二历回归年长度的理论值，其与代表值之差分别为＋17 秒和＋21 秒。而理论值与授时、大统二历历元年所取回归年长度值之差均为－23 秒，朱载堉二历法较之为优，在我国古代传统历法中，其精度是首屈一指的。[①]

黄钟历和万年历所取历元为万历九年和嘉靖三十三年，这仅是表面历元，其实际历元为 1581 年前 300 年和 1554 年前 4560 年。黄钟历的实际历元就是授时历的实测历元；万年历实际历元的诸应也都是以授时历实测诸应为基础推得。由于二历表面历元和真正历元间的差异，和"定岁积"(上元至所求年冬至之积日)等计算方法与授时历不同，必然影响到若干天文数据计算的精度，现以黄钟历和万年历表面历元年冬至时刻和五星近日点黄经的推求为例，做一讨论。

已知万年历的律应为 55.6089，律总为 60，表面历元至实际历元的年距为 4560，设 $F=365.25\times4560-\dfrac{4560^2\times7}{8\times10^6}$，万年历表面历元年冬至日名时刻应为[②] $\dfrac{F-55.6089}{60}$的余数＝46.20，即嘉靖三十二年十一月庚戌日 20 刻(1553 年 12 月 12.20 日)冬至。



已知黄钟历的气应为 55.06，表面历元至实际历元的年距为 300，设 $G=365.2425\times300-\dfrac{300^2\times7}{8\times10^6}$，黄钟历表面历元年冬至日名时刻应为[③] $\dfrac{G+55.06}{60}$的余数＝7.73，即万历八年十一月辛未日 73 刻(1580 年 12 月 11.73 日)冬至。

而相应年份冬至时刻的理论值分别为 1553 年 12 月 12.35 日和 1580 年 12 月 11.91 日[④]。那么，理论值与二历历算值之差分别为 15 刻和 18 刻。而授时历历元

---

① 陈美东:《论我国古代年、月长度的测定(上)》，载《科技史文集》第 10 辑，上海科学技术出版社，1983 年。

② 依《历学新说一·步发敛》"求十二律吕"术文意推得。

③ 依《历学新说五·步律吕》"求黄钟正律大小余及时刻"术文意推得。

④ 塔克曼(B. Tnckerman):《Planetary, Lunar and Solar Positions》。该书所列太阳黄经值是某日世界时为 16 小时的数值，黄钟历和万年历是以北京为观测地点的，北京位于东经 116°.5，求理论值时已虑及此。



年实测冬至时刻与理论值之差为0刻[1]，精度远较黄钟历和万年历为高。

黄钟历和万年历"求五星平合日"和"求诸段入历"的方法均与授时历稍异。"求五星平合日"是指推算所求年冬至与最临近的一次五星平合间的日距(H)。对于万年历表面历元年，其算式为：[2]

$$H=五星周率-\frac{F+五星合应}{五星周率}的余数$$

对于黄钟历表面历元年，其算式为：[3]

$$H=五星周率-\frac{G-五星合应}{五星周率}的余数$$

"求诸段入历"是指推算与所求年冬至最临近的一次五星平合与五星近日点间的日距(K)。对于黄钟历和万年历表面历元年，其算式均为：[4]

$$K=\frac{\frac{H+五星合应}{五星度率}}{日躔历率}的余数=\frac{H+五星合应}{五星度率\times日躔历率}的余数$$

于是，五星近日点与二历表面历元年冬至的日距应等于($H-K$)度，化为360°制需乘以$\frac{360}{365.25}$，得$(H-K)^\circ$。二历表面历元年五星近日点黄经则等于$270^\circ+(H-K)^\circ$，而相应年份五星近日点黄经和五星近日点黄经每年进动值的理论值亦可算得。[5]

计算结果是：万年历和黄钟历表面历元年五星近日点黄经历测值、历测值与理论值之差(见括号中的数值)分别为：木星，6°.01(－1°.15)和6°.06(－1°.54)；火星，318°.71(－9°.14)和318°.88(－9°.47)；土星，78°.48(－5°.85)和78°.51(－6°.35)；金星，262°.31(137°.03)和262°.72(137°.06)；水星，71°.54(1°.02)和71°.95(1°.01)。



由黄钟历和万年历每年五星近日点黄经历测值变化的分析可知，该二历法所定五星近日点黄经每年平均进动值分别为：木星5″.53，火星22″.67，土星2″.79，金星54″.15和水星54″.10。

而授时历历元年五星近日点黄经测算值与理论值之差，和每年平均进动值(见括号内的数值)分别为：木星2°.80(4″.53)，火星－5°.84(21″.79)，土星－0°.73(1″.76)，金星136°.72(53″.22)，水星1°.16(53″.22)。而五星近日点每年进动理论

---

[1] 陈美东：《论我国古代冬至时刻的测定及郭守敬等人的贡献》，载《自然科学史研究》，1983年第1期。
[2] 依《历学新说二・步五纬》"求五星平合日"术文意推得。
[3] 依《历学新说六・步五纬》"求五星平合日"术文意推得。
[4] 依《历学新说二・步五纬》和《历学新说六・步五纬》"求诸段入历"术文意推得。
[5] 丹容(A. Danjon)著，李珩译：《球面天文学和天体力学引论》，科学出版社，1980年，第477页。

值分别为 57″96，66″.27，70″.50，50″.69 和 56″.00[①]。

将有关数值做一对比便可知，黄钟历和万年历五星近日点每年平均进动值略优于授时历，其中水星所取值还是我国古代历法中的最佳值，但木、火、土三星所取值则是比较差的。[②] 至于表面历元年五星近日点黄经值，二历除木星和水星稍好外，其余三星均不如授时历，二历自相比较，则万年历稍优于黄钟历。

总之，黄钟历和万年历所取天文数据的精度，与授时历相比有同、有高也有低的，而低者较高者为多。但其高者有居于我国古代传统历法之冠者，这是难能可贵的。

三、对黄钟历和万年历所做其他修正的评介

二历对于授时历所做修正除上述而外，还有以下各项。

在《进历书疏》中，朱载堉曾提到黄钟历与授时历有三个不同。

“夫黄钟乃律历之本原，而旧历罕言之，新法则以步律吕爻象为首，此与旧历不同一也。”授时历以实测天象作为历法的基础，完全摒弃黄钟、律吕等数据的影响，这本来是先进的历本思想的反映，而朱载堉却在新历中竭力给一些十分平常的数字以玄妙的解释，生硬地与黄钟、律吕之数联系起来，这反映了他的历本思想的糟粕面。如，他说：“黄钟之管长九寸，从黍为分之九寸也，寸皆九分，凡八十一分，洛书之奇自相乘之数也，是为历本，故以万历九年为元，义取诸此。”[③]把黄钟历表面历元的设置说得神乎其神。而如同上述，该表面历元仅仅是一虚设历元，在历法的推算中并无实际意义，甚至是画蛇添足之举。所以，朱载堉所说的这一不同并无进步的意义。

“新法上考尧元年”冬、夏至午中日所在度，“与(何)承天、一行二家之语合，而与旧历不同二也。”“春秋左传昭公二十年己丑，日南至，授时历推之得戊子，先左传一日，大统历推之得壬辰，后左传三日。新法推之，与左传合，此与旧历不同三也。”由于对尧元年各家所定不同，当年日所在度的测量和左传日南至的测量均存在较大的误差，所以，与“二家之语合”也好，“与左传合”也好，并不能证明新法的优越性。这两个不同都与回归年长度消长法不同有关，而对于消长法的评介已如上所述。



关于太阳所在度起算点问题，朱载堉指出：

> (前代历法)命度进退不一，盖系旧术之弊，所谓演纪上元附会为之，故致如此。自元人定议不用积年日法，而犹用其命度起自虚六何哉?! 今术则不然，定以东方苍龙七宿之首，命起赤道角宿初度，较诸前代历家附

---

① 陈美东：《我国古代五星近日点黄经及其进动值的测算》，载《自然科学史研究》，1985 年第 2 期。

② 陈美东：《我国古代五星近日点黄经及其进动值的测算》。

③ 《历学新说五·步律吕》。



会之失，兹庶几得自然之理耳。[①]

如果说朱载堉对授时历以前各历法所做的这一批评多少还是有些道理的话，对授时历的这种批评则是言过其实了。因为太阳所在度起算点的选取本来就是人为的，取虚六或角初，于计算均无碍。当然，角初为人们习用的二十八宿度之首，以此作为太阳所在度的起算点，不失为一种较好的选择。

对周天分值，朱载堉也做了修正。在前代历法中，令周天分等于回归年长度加赤道岁差，该算式基本正确地反映了这三个天文数据之间的关系（严格地说赤道岁差应改成黄道岁差），但朱载堉以为该算式"不过因求岁差而设"，他规定"周天三百六十五度四分度之一是也"，"上考下推无所增损，此不易之法也"[②]。他又设赤道岁差为常量，而回归年长度自有消长之法。这就否定了这三个天文数据间的内在关系。所以朱载堉的这一修正也是不妥当的。

在黄钟历和万年历"步晷漏"术中，增加了：①"求每日午正随去日去地度"，②"求矢定数"，③"求每日随处中晷泛数"，④"求每日随处中晷定数"[③]等四项算法。此中，①是已知当日太阳去极度，即 90°减去太阳赤纬（$90°-\delta_{日}$），和当地北极出地高度，即纬度（φ），求当地当日午正时太阳出地高度（h）的方法。依术文意：$h_{日}=180°-(90-\delta_{日})-\varphi=90°-\varphi+\delta_{日}$，这一算法与球面天文学所示完全吻合。②是已知 $h_{日}$，用弧矢术求相应的矢量的方法。③是已知相应的矢量，用勾股术求八尺高的表在当日午正时影长的方法。④是求"地形差"的方法，由每日实测影长与由③算得的影长相减而得。这些正是朱载堉所说："今用北极出地度数，兼弧矢、勾股二术以求之，庶尽其原，又随地形高下，立差以尽其变，此前所未有也。"[④]

以上所谈七项修正，多为不妥当或无重要意义者，也有前进了小小的一步或稍有新意者，这对于一个探索者而言，是不足为怪的。这只能证明寻求真知的道路是曲折的，探索者留下的足迹当然也不会是完美无缺的。



四、用正方案测日定北极高度法

正方案是郭守敬发明的用于测定方向的仪器[⑤]。由于北极"不动处无星"，且北极附近的"纽星去极古今尚无定论，况能测知极出地之度耶？"这是朱载堉对观测纽星以定北极高度的传统方法提出的有说服力的质疑。为此，他设计了利用正方

---

① 《历学新说八・命度》。

② 《历学新说七・天周》。

③ 《历学新说一・步晷漏》和《历学新说五・步晷漏》。

④ 《历学新说八・晷景》。

⑤ 《无史・天文志一》。

案，"惟以日景验极，不必窥测纽星"[1]的新方法。

> 今拟新法，宜于正方案上周天度内权以一度为北极，自此度外右旋数至六十七度四十一分，为夏至日躔所在，复数至百一十五度二十一分，为冬至日躔所在，左旋数亦如之。距二处经中心交贯界线并中心共五处，各插一针。于二至日午中向东立案验景，使三针景合而为一，如不合，则揩起一头，务使相合。然后悬线界取中线，而又取方十字界之，横界上距极若干度，即极出地度及分也。[2]

依文意可见图7－3。图7－3中J和K分别为正方案周天刻度内的0度和1度处。K为北极。令：

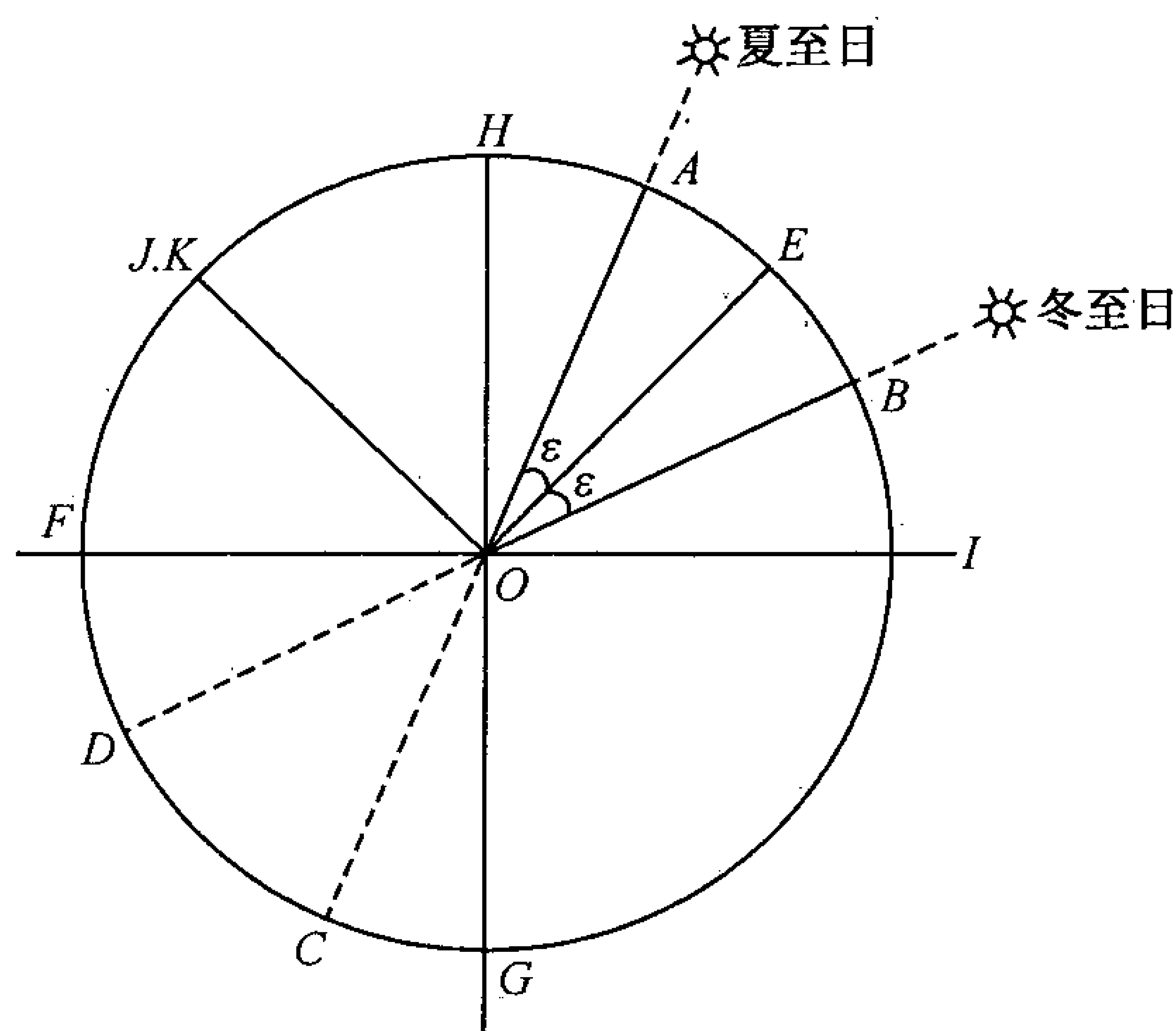


图7－3 正方案测日定北极高度法示意图

$$\widehat{KA}=\widehat{KD}=67.41\text{度}\quad \widehat{KB}=\widehat{KC}=115.21\text{度}$$

设E为$\widehat{AB}$的中点，则$\widehat{AE}=\widehat{EB}=23.90$度，此即黄赤交角$\varepsilon$，且$OE\perp OK$。

于A、B、C、D和O五处插针，AOC和BOD分别处一直线上。夏至时，将正方案竖起，面向东，置于南北方向上，令A、O、C三处针影重合，即令该三点和太阳共处一直线上。同理，冬至时，令B、O、D三处针影重合，即令该三点与太阳共处一直线上。

自O点悬绳，OG为垂线方向，其延线OH即为观测者的天顶方向。又，HG和FI为相互垂直的方十字，FI为其横界。令HG与垂线相合，则$\widehat{FK}=\widehat{HE}$。朱载堉以为$\widehat{FK}$即当地的北极出地高度值。

由球面天文学知：

---

① 《历学新说八・候极》。

② 《历学新说八・候极》。



$$\varphi = Z_{夏} + \varepsilon = Z_{冬} - \varepsilon$$

$$Z_{夏、冬} = Z'_{夏、冬} + \rho_{夏、冬}$$

式中，φ 为地理纬度亦即北极出地高度，$Z_{夏、冬}$ 和 $Z'_{夏、冬}$ 分别为夏至和冬至时太阳的真天顶距和视天顶距，ε 为黄赤交角，$\rho_{夏、冬}$ 分别为夏至和冬至观测太阳时的蒙气差。

由图 7－3 知：$Z'_{夏} = \widehat{HA}$，$Z'_{冬} = \widehat{HB}$，则

$$\varphi = \widehat{HE} + \rho_{夏、冬} = \widehat{FK} + \rho_{夏、冬}$$

这就是说，除了未虑及蒙气差的影响外，朱载堉所设计的方法是正确的。那么这一方法可能达到的精度又如何呢？

朱载堉时代的 ε 理论值应为 23°29′.8，其所取值 23.90 度化为 360°制等于 23°33′.4。而在 φ 约 40°处，$\rho_{夏} = 0'.3$，$\rho_{冬} = 2'.0$[①]。于是，依朱载堉法所得 φ 值，夏至时有 3′.9，冬至时有 5′.6 的系统误差。该法存在的偶然误差还有：正方案的定向差，当其差 1°～2°时，$Z'_{夏、冬}$ 可能有 1′～1′.5 的变化；夏、冬至时刻差，当其差 1 日时，$Z'_{夏、冬}$ 的变化不大于 0′.5；[②]读数差，正方案长宽约为 4 尺，则 1 度约宽 0.8 厘米，则读数精度约为 3′左右。此外还有照准差、正方案的安置差等等，暂略而不计，由于朱载堉所设计的三针影重合法相当巧妙，已经较好地解决了照准问题。于是，在正常情况下，朱载堉法的最大误差为 5′.6＋1′.5＋0′.5＋3′.0＝10′.6，即 φ 的误差不应大于 0°.2。而郭守敬等人观测纽星定北极高的平均误差为 0°.35[③]，则朱载堉法是大有进步的。

黄钟历和万年历所用“京师北极出地四十度太(40°.16)”[④]的数值，大约就是朱载堉依新法而得的实测值，它较授时历所用“大都北极出地四十度太强(40°.25)[⑤]略小。而北京的纬度约为 40°，则朱载堉所测值优于授时历值。



另外，朱载堉还曾利用正方案进行了磁偏角的测量：“尝以正方案之一规均为百刻，而以日景与指南针相校，果指午正之东一刻零三分刻之一”[⑥]。依此说 $\frac{1\frac{1}{3}}{100} \times 360° = 4°.8$，则实测得磁南北较地理南北偏东 4°.48′。这数据为磁偏角变化的研究提供了有价值的史料。

---

① 中国科学院紫金山天文台：《中国天文年历》。

② 陈美东：《试论我国古代黄赤交角的测量》，载《科技史文集》第 3 辑，上海科学技术出版社，1980 年。

③ 潘鼐，向英：《郭守敬》，上海人民出版社，1980 年，第 84 页。

④ 《历学新说一・步晷漏》和《历学新说五・步晷漏》。

⑤ 《元史・历志四》。

⑥ 《历学新说八・正方》。

五、天文历法思想

在第四节中已提及朱载堉历本思想的糟粕面，其实，他的历本思想还有十分先进的一面。他说："夫测中晷以定冬至"，"验中星以求日躔"，"此二者盖治历之本也"。[①] 在这二者之中，他又反复强调前者，"推律候气，立表测景，盖治历之本也"[②]，"古之造历者，立表候景于其午晷短长之极，以验阴阳消息之始，是为历本"[③]，即他以为，对客观存在的天象的实际观测，特别是对二至日影、时刻的测定，是历法的基础、原本之所在。他还认为："凡历法之疏密，当以天为验，是乃历之本也"[④]，"往者稽于史，来者验于天，而新旧二家疏密可见矣"[⑤]。所谓"史"指的是史籍所载前人实际观测的结果，那么这是说接受古往今来实际天象的检验，乃是鉴别历法优劣的标准，无论历法制定之初还是之后，都必须以客观存在的天象作为基础和试金石。这种以实践为基础，又不断接受实践检验的历本思想，是从前人特别是从郭守敬等人那里继承过来的。

两种截然不同的历本思想交织在朱载堉的脑子中。但在处理历法的大多数问题时，他是以先进面为指导的，仅在历元问题上反映了糟粕面的影响。应该说朱载堉历本思想占主导地位的乃是其先进面。

对于侵入天文历法领域的天人感应说，朱载堉是持完全批判的态度的。

他指出："古者平朔，月朝见曰朒，夕见曰朓。刘向父子据《鸿范》以为人事缓急之应，未达月行迟疾之理。今以日所盈缩，月所迟疾而损益之，或进退其日，以定时朔，则舒亟之度乃数使然，非由人事之应，迟疾有衰，其变者势也。"[⑥]这是用日、月运动不均匀性的客观事实，批驳平朔时月朝见或夕见现象系与人事有关的感应说。



他又指出："前汉志曰：天下太平，五星循度，无有逆行，日不食朔，月不食望。此说非也。"[⑦]对于唐代天文学家一行的"古之太平，日不食，星不孛"说，朱载堉更称其为"谬说"。他反复阐明："日月交食，固皆常理，实非灾异"，"若谓食非定数，则近诬矣"。交食现象与"人之祸衅"之间没有什么必要的联系，而那些"只知言征祥之义"的人，是有意的危言"惑众"[⑧]。进而，他正确地指出："食不在朔望者，盖历术

① 《历学新说七·日躔》。
② 《历学新说八·晷景》。
③ 《历学新说七·岁余》。
④ 《历学新说三·诸历冬至考》。
⑤ 《历学新说四·古今交食考》。
⑥ 《历学新说八·定朔》。
⑦ 《历学新说八·五纬》。
⑧ 《历学新说八·定数》。



之弊欤！”[1]至于预报不够准确，存在一定的误差，则是历法自身还不够精密造成的。[2] 这就不把交食预报的不应验或不准确归咎于君王政治的治乱，而从历法本身是否客观地反映日月运动的“常理”方面去寻找原因，既摒除了天人感应的思想羁绊，又为历法的进步开辟了道路。

朱载堉还是我国古代历法思想史上批评“失行说”的第一人。唐代一行、北宋周琮以至郭守敬等人都主张“失行说”，这是一种随心所欲地把历法的不验归因于日月五星突然失去正常运行的自欺欺人的伪理论。朱载堉指出：“今按前人考古，景长之验或不相合，则云日度失行，窃谓此言过矣。苟日度失行，当如岁差渐渐而移，今岁既已不合，来岁岂能复合耶？盖系前人所测或未密耳，非日度变行也。”他进一步分析造成“未密”的原因是：测量日影的器具不够精密，“测景之人，工拙不同”，加上“二至前后数日之景进退在毫厘之间，僾俙之际要亦难辨”。[3] 这是对“失行说”的有力批判，表明了朱载堉实事求是的科学态度。

对于天文历法问题的“理”、“象”、“数”三者的关系，朱载堉也有精辟的论述。他以为：“夫有理而后有象，有象而后有数，理由象显，数自理出，理数可相倚而不可相违，凡天地造化，莫能逃其数。”[4]即一切天文现象都是由一定的规律制约着的，人们观测天象可以窥知这种规律，由观测得到的种种数据则是这种规律的反映。这三者之间存在着统一的关系。这一论述和对“失行说”的批判，在比朱载堉稍晚的徐光启、王锡阐等人的著作中，有进一步的发展，朱载堉的这些思想则开其先声。

朱载堉所处的时代，政府明令不许一般人问津天文历法。朱载堉身为宗室世子，亦“未见《大统历经》”[5]，至于“仪表之具，生来目所未睹，况能知其距度之疏密，展次之广狭乎”。虽然，他深知历法“欲求精密，则须依凭象器测验天文，积日累月，务得其实，而后缀以算术，立为定法，方可成一代之懿制，传之万世而无弊也。”[6]可是，在视天文历法为禁学的社会里，私习历算之学就不易，尤其是他身居王府之隅，要进行天文观测工作更是困难重重了。这也就决定了朱载堉不可能在天文历法领域取得重大突破。但就在此逆境中，他做了力所能及的大量工作，“辑名历五十家，倾心考证”[7]，“采众说之所长”[8]，大胆地对授时历和大统历进行了一系列修正，其



① 《历学新说八・五纬》。
② 《历学新说八・定数》。
③ 《历学新说三・二至晷景考》。
④ 《历学新说八・交会》。
⑤ 《历学新说一・进历书疏》。
⑥ 《历学新说八・五纬》。
⑦ 《历学新说一・进律历融通疏》。
⑧ 《历学新说一・进历书疏》。

中包括一些有重要意义的改革性意见，而且拟定新法，做了某些实测工作，还提出了不少有见地的天文历法思想，这些在传统历法处于凋零枯萎的情况下，是具有十分积极的意义的。

（撰稿人：陈美东）

第四节　徐光启

徐光启（1562—1633），字子先，号玄扈，上海县（今上海）人。生于农家，从小就“有崇正治国之志”。22岁开始以教学为生，历时约20载。教学之余则潜心研究学问。徐光启是中国明末杰出的科学家，在天文学、数学、农学等方面，均有重要贡献。徐光启在42岁时（1603）入天主教，第二年（万历三十二年）中进士，任职翰林院。在这一时期，他与传教士来往密切，向传教士学习西方自然科学，研究天文历法。先后与利玛窦合译《几何原本》和《测量法义》，又与熊三拔合译《简平仪说》等。万历、天启年间，因历法疏误，徐光启会同天文学家李之藻、周子愚等多次上疏要求改历，终因明朝政府的腐败无能和魏忠贤奸党专权而一无建树。崇祯元年（1628）阉党事败，徐光启入礼部任职，管部事。此时他已是66岁的老人了（见图7—4）。徐光启享年71岁，临终前官至文渊阁大学士。崇祯二年，明朝政府批准改历，由徐光启负责。徐光启坚决主张参用西法，提出“欲求超胜，必须会通，会通之前，必须翻译”的方针。先后聘请耶稣会士邓玉函、罗雅谷、汤若望等参加工作。历局编译西法直至崇祯六年（1633）徐光启逝世，已完成十分之九的工作，后由李天经接任，终于完成了这部巨著《崇祯历书》。



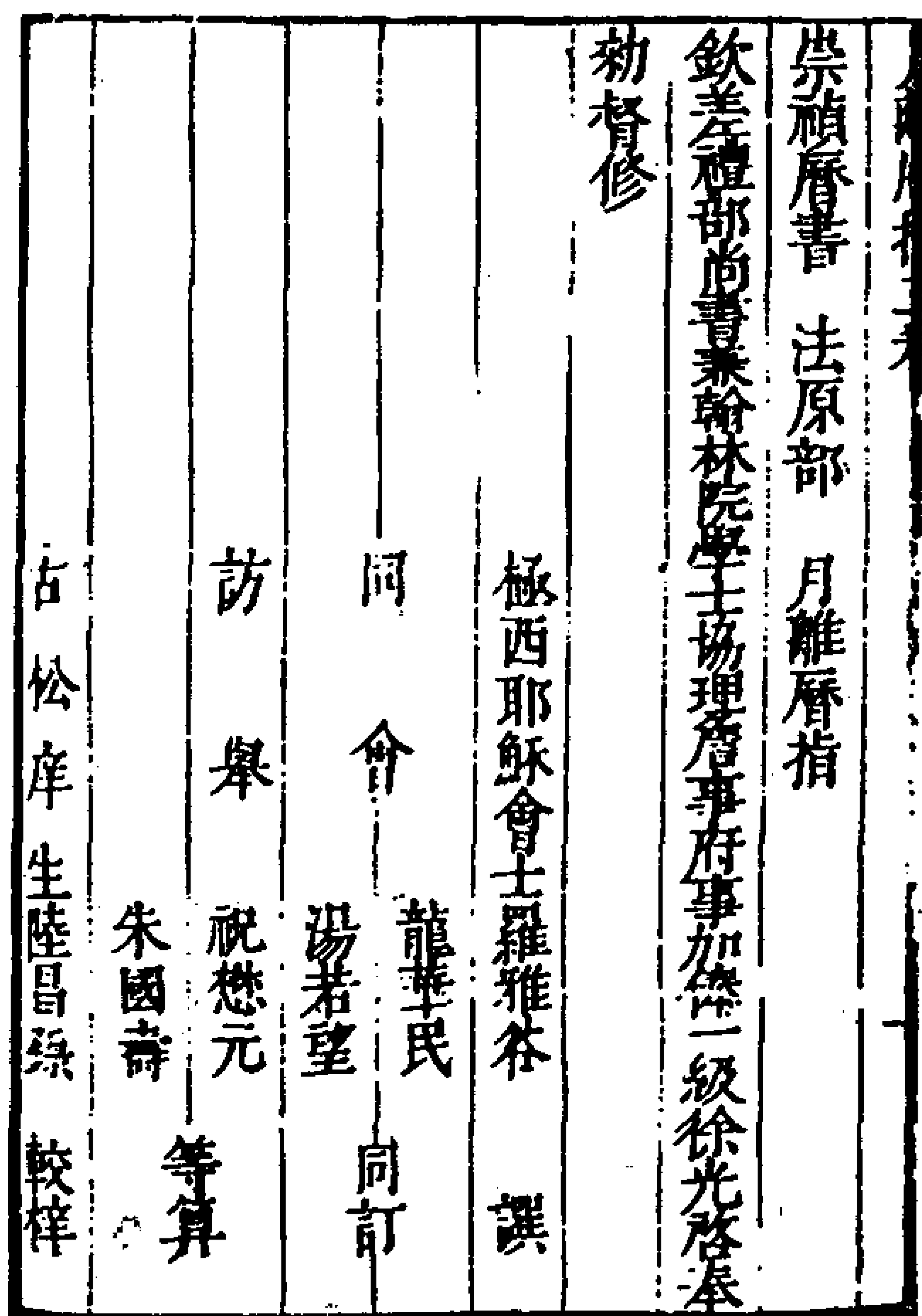
图7—4　徐光启画像

一、译编《崇祯历书》

在徐光启的组织和领导下，历局于崇祯二年九月开局，先由传教士龙华民和邓玉函参与译书，后由罗雅谷、汤若望继任。李子藻和钦天监人员也参加了工作。徐光启在《崇祯历书·历书总目》中说：历法一事“义理奥赜，法数殷繁，叙述既多，宜



循节次，事绪尤纷，宜先基本。”他按学科分为基本五目：法源、法数、法算、法器、会通。又按内容分为节次六目：日躔历、恒星历、月离历、日月交会历、五纬星历、五星交会历。《崇祯历书》（图 7—5）的编撰，就是按照徐光启的这个计划完成的。中国古代的历法，大多只讲求推算，而不注意阐明其原理。徐光启则要力求改变这种传统，这基本五目就如“梓匠之规矩，渔猎之筌蹄，虽则浩繁，亦须随时并作，以周事用。”应当从原理到应用，求其详备。这样，将来即使历法出现差误，也容易修正。这是具有远见的指导思想。



崇禎曆書　法原部　月離曆指
欽差禮部尚書兼翰林院學士協理詹事府事加從一級徐光啟奉
勑督修
極西耶穌會士羅雅谷　譔
同　會　龍華民　湯若望　同訂
訪　舉　祝懋元　朱國壽　等算
古　松　庠　生陸昌祿　較梓

图 7—5　明刊本《崇祯历书》扉页



徐光启一面组织编译新法，一面制造仪器从事观测，以确定基本天文数据，检验新历推算的精度，同时组织钦天监官生开办讲习班，学习讨论新法，以期完善和普及新法，为将来颁行新法打下基础。徐光启亲自参与编译工作，每卷必须七八易稿，而讨论润色，仅他一人承担。可见他在编历过程中所起的重要作用。

自崇祯二年九月开局到徐光启于崇祯六年十月去世，他先后三次进呈历书，第一次二十四卷，第二次二十一卷，第三次三十卷，李天经接任以后，于第四次进呈三十卷，第五次进呈三十二卷。全书合计一百三十七卷。

《崇祯历书》编成以后，未及颁行明朝就灭亡了。清代明以后，才改名为时宪历颁行于全国。

《崇祯历书》属于西方天文学系统，它全盘地介绍了第谷体系宇宙结构和天体

运动的学说。主要有：

(1)地为球体，天与地均有经纬度；

(2)太阳本圆与地不同心，古今不等；

(3)引进蒙气差的计算，即考虑了大气折射对天体位置的影响；

(4)测天以弧三角，演算以割圆八线；

(5)引用黄道坐标系；

(6)以定气注历；

(7)以春秋分定回归年；

(8)日月行度的高卑运算；

(9)以精密的太阳行度计算昼夜时刻；

(10)日月食理论及地半径差；

(11)定 1 日为 96 刻；

(12)恒星有本行；

(13)以五星绕日运动进行较精密的运算；

(14)引进了圆周 360°制。

另外，在编译《崇祯历书》时，还第一次制作了欧洲新近才发明的望远镜，并用于观测，验证了许多新的发现和新的观念。在书中还部分地介绍了开普勒的行星运动的工作，指出太阳具有“能动之力”，“太阳于诸星，如磁石于铁，不得不顺其行。”(图 7—6)。

遠近限差三〇 三七 〇三〇 二六
正德間西史歌白泥術
月距諸平爲地半徑 地半徑視差 月視徑
十單又十分 十分十秒 十分十秒
極遠 六八 二一 五〇一九 二七四〇
本輪最高 六五 三〇 五二二四 三〇一〇
本輪心 六〇 一九 五八二五 三二四四
本輪最卑 五五 〇八 六二二一 五五四〇
極近 五二 一七 六五四四 三六〇八
遠近限差一六 一五二五 〇八三〇
萬曆間西史第谷術
極遠 六〇 三六 五七四四
本輪最高 五八 〇八 五九〇九 三〇三〇
本輪心 五六 五〇 六〇五一 三二三四
本輪最卑 五四 五〇 六二三九 三四四〇
極近 五二 一四 六五三六
遠近限差 八 八五三
第谷及其門人刻白爾之法今所用又測太陽視徑

图 7—6 《崇祯历书》中对哥白尼和开普勒的引用



二、天文仪器的制作和日月食的测算

徐光启在科学事业中极注意科学实践。农业上他躬亲陇亩，多方试种。军事则练兵与制造火器。在天文历法范畴，他亦注重制仪和实测，甚至以 69 岁高龄亲登观象台，以致坠伤腰膝。

对作为观测工具的仪器，徐光启是一向深感兴趣的。《几何原本》刊刻后不久，万历三十九年(1611)时，熊三拔偶将其所试制的简平仪①持与徐氏做解说，徐氏马上就记录下来，整理编写成《简平仪说》②一册，并为之作序。他并撰写了《测量法义》、《测量异同》和《勾股义》等书，对观测所需的数学知识做了叙介。随后，他又撰《平浑图说》、《日晷图说》、《夜晷图说》三书，惜未传世。可以说，这是他于晚年真正从事天文事业的开端。两年后，他在译述《泰西水法》试制水力仪器后，又抱病与熊三拔"制天盘、地盘(即简平仪)、定时衡尺、璇玑玉衡等器，皆时人所未睹。"他写到上海的家书内亦有"大作仪器，多用人"③的打算，亦可惜未能实现。

在清兵入侵，国事艰难时，他屡病时休，营田天津。其后阉党专权，回原籍家居。至崇祯元年他又回京时，汤若望于两年前(1626)撰有《远镜说》。④ 徐光启复职的次年，开局修历，上疏提出四项"急要事宜"中，其一即为"急用仪象十事"。一开始，他就要求制造：七政象限大仪 6 座，列宿纪限大仪 3 座，平浑悬仪 3 架，交食仪 1 具，列宿经纬天球仪 1 架，万国经纬地球仪 1 架，节气时刻平面日晷 3 具，节气时刻转盘星晷 3 具，候时钟 3 架，测候七政交食远镜 3 架。其中望远镜占有主要地位。他指出，这是急用的，还有需继续制作的，以后再陈。七月上疏，九月已完成首两项大仪 3 座，安装使用。对于伽利略之创制望远镜相隔仅仅 20 年，徐光启即自制而具体应用于观测。引进先进技术态度之坚决与速度之快，在古代中国是罕见的。所造全部预算，除镜面外，仅用银 482 两，可谓节约之至。这些仪器，很快完成，即加应用。而徐光启对应用仪表进行实测之重视，从崇祯三年十一月为了考验交食，他亲自校勘仪器一事中可见一斑。他在观象台并用日晷、简仪、立运仪、正方案反复校定子午线，作为定时之本。并指定用日晷定昼时，星晷定夜时，正线罗经定子午方向，又用新造行漏比验原有铜漏。用指南针定方向时，他又测定北京的磁偏角为偏东 5 度 40 分，并校订出，若日晷上用指南针定子午线，则午正误差，冬至



① 今故宫存有汤若望所制简平仪一具。

② 收于李之藻所编《天学初函》。

③ 《徐文定公家书墨迹》第六通，1903 年版。

④ 汤若望于 1618 年来华时，带有欧洲最早制造的望远镜，那是米兰红衣主教波罗米(F. Borromes)送给他的。

日为先天1刻44分有奇，夏至日为先天51分有奇。对观象台安装的仪器，他校出：正方案的方向实偏东2度，赤道日晷先天半刻，等等。

进行实测和验证，最主要的环节在于日月交食。改历的起因，亦是从日月交食肇始的。这是历法的关键，徐光启在这方面倾注了极大的心力。

历局成立前，崇祯二年五月朔日食，徐光启时任礼部侍郎。他依西法计算顺天府(北京)日食[①]，同钦天监依大统、回回二历所推做比较。到期，礼部主事黄鸣俊与钦天监五官灵台郎孔文进等会同测验，独徐氏所推较密合。礼部即以此为契机，徐氏拟稿，申请改历，一奏而获准。

这以后，直至徐光启去世，进行了多次日月食的推算和观测。这是因为他的观点是，“莫难于造历，莫易于辨历。天之高、星辰之远……若欲辨术业之巧拙，课立法之亲疏，则以日月交食、五星凌犯、豫令推算、临时候验、时刻分秒，合即是，不合即非，若数一二，安可欺乎。”[②]因而这是徐光启为证明西法可行的一项试金石。治历开始后的崇祯三年十月十六日月偏食，大统历算得初亏寅正3刻，回回历为卯初初刻，徐光启按西法为寅正1刻89分25秒算外。届时，他率领有关人员用新造的候时星晷测验，测得初亏为寅正1刻90分算外。食甚亦以西法为密合。接着又有四年四月十五望月全食，这时新历的交食部分尚未编译，“法虽未定，约略推步”。[③]徐光启分别算出了相应的见食时刻、食分和南京应天府等12大城市的见食时刻。接着又推算了几次。在日食观测中，徐光启亲自督领钦天监与历局人员及罗、汤二人，“预将原推时刻点定日晷，调定壶漏。又将测高仪器推定食甚刻分……又于密室中斜开一隙，置窥筒眼镜以测亏复，画日体分数图板，以定食分。”[④]徐光启的见解是，“盖汉以前差以日计，唐以前差以时计，宋元以来差以刻计，今测差以分计。必求分数不差，宜待后之作者……”他这段话是符合事物发展规律的，现代的日月食计算，已经达到分秒不差的程度了。



崇祯四年，徐光启又推算次年三月十六日望月偏食。鉴于地球周围大气层在地影四周形成游气，观测困难，除了用“窥筒眼镜”即望远镜外，他又制造了“小仪二具，以便密测详较”。观测过后，他又于四月底呈览九月十四日月偏食的计算结果。

这次月食，大统历算得初亏为卯正1刻，按新法算得初亏为卯初3刻内88分74秒，食甚辰初1刻内37分45秒，复圆辰正3刻内22分77秒。而日出时刻为卯

---

① 徐光启的计算系根据金尼阁带来的，由汤译后经徐校勘修改的欧洲天文学书籍，即后来的《交食历指》。

② 徐光启：《礼部为奉旨修改历法，开列事宜乞裁疏》，崇祯二年七月十一日。

③ 徐光启：《月食起复方位具图呈览疏》，崇祯三年十二月初三日。

④ 徐光启：《日食用仪器测验疏》，崇祯四年十月初二日。



正3刻内81分92秒。初亏是能够观测到的。他虽身居中枢要职，却上奏称："例当于中府衙门随班救护，如此则本局督视无人。虽有陪臣台官等依法测验，不至乖舛，然非臣等所亲见……实臣心所未安也。……乞容臣于是日照前登台实测，次日具本奏闻。"[①]届时，71岁的徐光启一如既往，率领众人亲自测候。备仪器二具测量恒星位置，记录壶漏，参酌星晷，用以计算时刻。可惜到卯初1刻，忽然阴云蔽月，至天明云气未开，未能候验。现将按《食典》计算得的1632年10月28日的这次月食时刻[②]，校核徐光启的推算，得知初亏相差6分钟，食甚相差4分钟，复圆相差18分钟。以3个半世纪前的水平来说，可算是相当准确了。崇祯六年九月二十九，抱病在身的徐光启，因《交食历》业已译撰完竣，就依法推算了七年二月十五夜食分为9分21秒的月食。同时念念不忘地指出，到时必须"令监督等官并臣局陪臣官生各如前测候"[③]。来不及亲临，徐氏于8天后就溘然长逝。这等严肃的工作态度与严紧的负责精神，真可说是一代宗师，为后世科技人员树立了楷模。

三、星象的实测与星图的制作

恒星测量向来是天文历法中的一项重要工作，因为它是测定天体方位的基础。例如徐光启在观测月食时，就利用新制的星晷测星以定时刻。他制造列宿纪限大仪，即用以测定恒星经纬度，作为基本资料。他在"历法修正十事"中，第一项"议岁差"，修定"每岁东行渐长渐短之数"[④]，在列宿经纬度上是有所反映的。他在这方面的工作远超前人，有详细的星表，也有卓越的星图。前者为历书中的《恒星历表》，后者是一系列的大型星图。

1. 见界总星图与三种黄赤道星图

崇祯四年第二次进呈书目中有《恒星历指》三卷，《恒星总图》一摺，《恒星图像》一卷。今顺治二年版《西洋新法历书》内，前者作四卷，而无后二者。卷四名《恒星经纬图说》[⑤]。书内列有星图四种：见界总星图；赤道南北两总星图，简称赤道两总星图；黄道南北两总星图，简称黄道两总星图；黄道二十分星图。又，《明史天文志》"恒星"一节记云："崇祯初礼部尚书徐光启督修历法，上《见界总星图》。……今皆崇祯元年所测，黄赤二道经纬度毕具。"从各种情况排比，《恒星总图》当即为《见界



① 徐光启：《月食乞照前登台实验疏》，崇祯五年九月十二日。
② 此项计算值系刘宝琳提供。
③ 徐光启：《月食依新修交食历推步并具图像呈览疏》，崇祯六年九月二十九。
④ 引语均见徐光启《条议历法修正岁差疏》，崇祯二年七月二十六。
⑤ 其后刊行《新法历书》时，又改为三卷，附《恒星经纬图说》于第三卷之后。

总星图》。今所有顺治二年刊本《西洋新法历书》，既无《恒星总图》卷，又罕附此图①，恐系两失之。梵蒂冈图书馆藏有《见界总星图》两幅。上部为文字，题名《见界总星图解》，下部为传统的圆形盖天图。文字部分与《恒星经纬图说》内所记基本相同。图的绘制方法一似苏州天文图。紫微垣为内规，还有黄赤二道及外规。自内规至外规绘有辐射形的 28 条宿度线。外规之外还有 5 圈。第一圈注明二十八宿宿度，使用古度，取郭守敬度以下百分制。其中参宿在觜宿之西，未记宿度。第二圈与第一圈相配合，分划为 365.25 度，是为古度。第三圈以黑白相间分划为 360°，是为西方度分。第四圈每 10°划一格，共 36 格，配合里圈 360°，格旁注明一十、二十、三十……至三百六十为止。第五圈从春分点开始划分为十二宫，始自降娄戌宫，终于娵訾亥宫，每宫 30°与第四圈三大格相结合。图上黄赤二道两圆相交于二分点，春分点约为壁 1.45 度，秋分点约为翼 20.50 度。按今公式计算，春分点为壁 1.48 度，秋分点为翼 19.86 度或轸 0.82 度。实际的误差，春分点为 0.03 度，秋分点按翼宿计为 0.64 度，分别相当于 1′.8 和 37′.8。秋分点如按轸宿计，则误差达 1.08 度，原因在于翼宿的宿度，图上为 20.76 度，而实际上那时只有 19.04 度，所以 19.86 度实已超越轸宿距星了。这一点，不久后就被历局人员发现了。但初版的《恒星历指》业已刊行，来不及加以改正。在河北献县天主教堂的图书室内，曾发现汤若望于崇祯十七年（即顺治元年）至顺治二年间挖改明版《崇祯历书》的部分原稿。明刻本上被硃笔涂改，《崇祯历书》改成《西洋新法历书》。“钦差礼部尚书……徐光启奉敕督修”的题名中，“钦差”被涂改为“明”，“奉敕”两字被圈去不用，署名亦遭涂改增删。对《恒星历指》二卷的二十八宿宿度，有较多的修订。该卷宿度数值，上下排成 3 列。第一列为“赤道古各宿度”。第二列为“赤道今各宿度”，按 360°制计列。第三列为“赤道古今各宿度”，意即按 365.25 的古度列算今值。第一列虽称“古”但亦有改动。如明印本女宿为 10 度 45 分，清挖改本按汤若望修改稿刻为 13 度 22 分。第二列与第三列明印本两者之间的关系为第二列乘以$\frac{365.25}{360}$得第三列。前者到分，后者按百进位到秒，换算关系全部正确无讹。《见界总星图》四周二十八宿宿度，与历指表上第三列相同，仅图上以百进位的分作单位。例如毕，今宿度为 16°34′，换算古度得 16 度 80 分 82 秒，图上写作 16 度 81 分。图上二十七宿合计得 365.22 度。其中，斗、井二宿的秒数，四舍五入时未进位，故总应 365.24 度，尚缺 1 分。汤用硃笔涂改了许多的宿度，涂改后的换算关系甚是紊乱。有的宿，他仅仅将 360°制的分，换算为古度的百分制的小数，去乘以$\frac{365.25}{360}$。例如柳，他

① 日本桥本敬造教授曾于巴黎国家图书馆见其藏本，内有一星图，卷名题为《恒星经纬图说》，文辞与以前所见相同，他认为此图就是《见界总星图》。

将12°4′改为12°51′，换算得12度85分0秒。85分即为51′。而实应作$12^{\circ}.85\times\frac{365.25}{360}$＝13度3分73秒[①]。有的宿，两数换算后漏写数字。如觜宿，11°48′改为11°24′，应换算得11度56分62秒，其中62秒写成2秒。许多宿换算错了，两数比率亦各不相等。例如奎宿将14°30′改为16°35′，应换算为16度82分51秒，却写成16度81分63秒，等等。文献表明，这种修改，不止一次，顺治二年刊本之后，至康熙十七年补刊，又有若干修改。故《明史·天文志》所录，与《新法历书》所刻均有不少差异。回顾前述二分点位置，当宿度线变动，位置也随而变更，所以这一项初测的二十八宿宿度可说保持着徐光启工作的最早面貌。后来，距星也曾有所变动，原来的觜宿0度0分0秒与参宿11度97分21秒，改为觜宿超前，参作0度和40分，觜得11度56分2秒。变化是相当大的(见图7—7)。

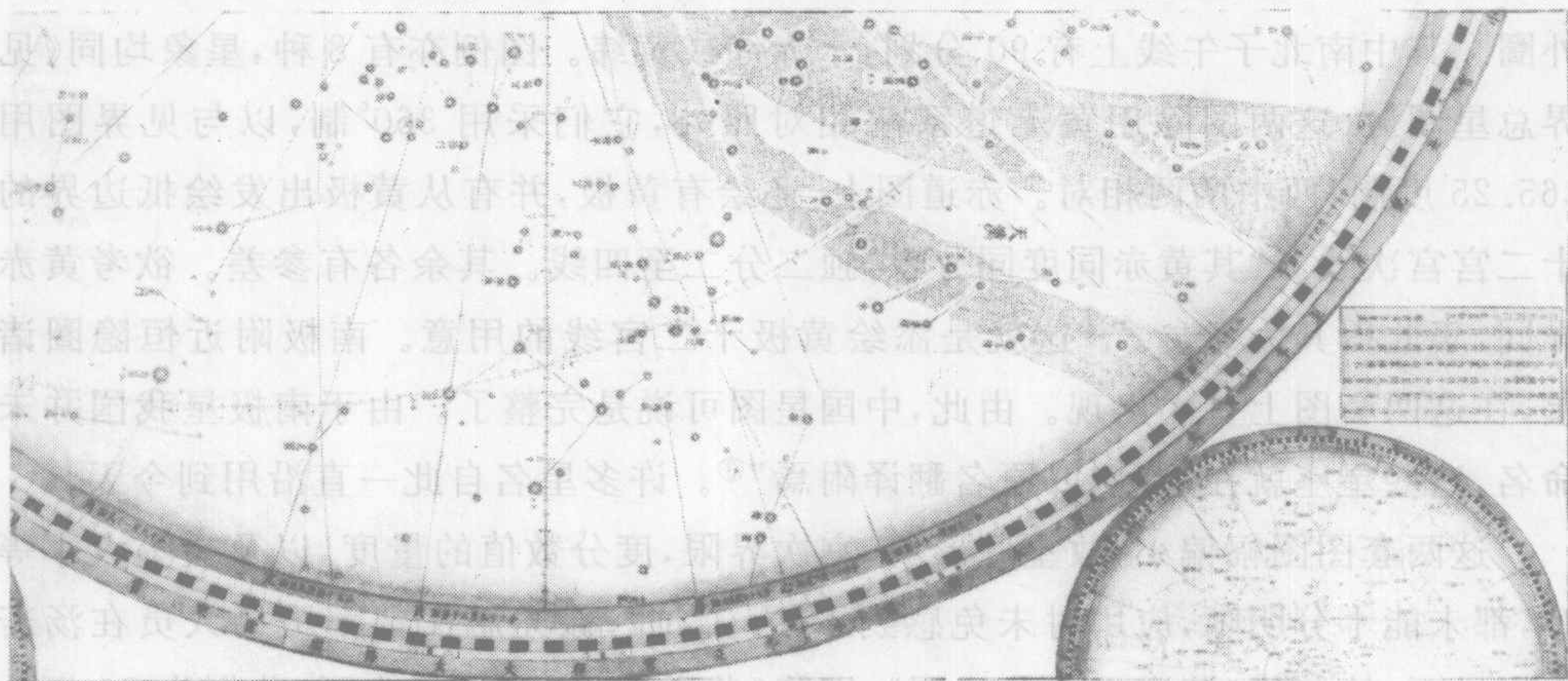


图7—7　徐光启恒星屏幛中的角宿至尾宿

在距春分点45°处，自北极至边界画有刻线一条。每格1度，每10度一长划，5度一中划。据线上刻度可知，内规范围为36°.4，显然并未以北京地区为准，而是按紫微垣的范围画的。全线长143°，外规止于－53°处，即可见范围限止于北纬37°地方。从京师来说，地位略有富余，当是为了便于图上绘星注字。图内绘有银河，称天汉。全国以天球北极为圆心，但略有偏离。舍弃天枢而以勾陈大星作极星，大抵即始自此时。图下方有图例。依星等大小将星分为一至六等，还有增星与气，共八种符号。中国星图而依星等绘星，亦以此为始。全国星象，按《恒星历表》点定，例如青丘仅列3星而非7星，贯索作8星而非9星，无器府、天庙、军门，等等。增星则仅绘星而未注字。万历客星(即第谷新星)亦绘于图上，旁注客星二字。中国星

---

①　在本文中，古度用汉字度、分、秒作单位。

图上绘客星，亦为前所未有[①]。全图所表述的，就是《崇祯历书》的1366星。它对我国传统的三垣二十八宿天区，已做了一定的改变。经归算，有不少星已不是历来所指认的而是有了变动。陈卓的1464星，自《步天歌》至此，其体系形式虽未变，星名绝大部分亦仍存，然而星座组织却已颇有更易。所以此图可说是中国星图的一个明显转折点。

《赤道两总星图》与《黄道两总星图》是将《恒星历表》的星，分别按赤道坐标系与黄道坐标系，依天球赤道与黄道为分界而绘制的表达南北两半天球的星图。它们的绘法相同，亦跟苏颂《新仪象法要》星图的第四、五两图绘法相仿。所异者，后者缺近南极诸星而已。两套图共四张，一以天球南北极为圆心，一以南北黄极为圆心。四周各分360°示赤经或黄经。有黑白相间区格。每30°为一宫，每10°注有数字。从圆心出直线抵圆周宫界，共12条，区分为十二宫，仍采古十二次名称，列于外圈。其中南北子午线上有90°分划，示赤纬或黄纬。图例亦有8种，星象均同《见界总星图》。这两图除用黄赤道系两相对照外，它们采用360°制，以与见界图用365.25度制，西中两两相对。赤道图上，还绘有黄极，并有从黄极出发绘抵边界的十二宫宫次线。“其黄赤同度同分者，独二分二至四线。其余各有参差。欲考黄赤异同，于此得其大意矣。”[②]这就是添绘黄极十二宫线的用意。南极附近恒隐圈诸星，在这两套图上首次出现。由此，中国星图可说是完整了。由于南极星我国并未命名，这些星座就在这时“以原名翻译附焉”[③]。许多星名自此一直沿用到今天。

这两套图图幅偏小，故星座形象，宫次界限，度分数值的量度，以及星等大小等等，都未能十分明晰，应用时未免感到不便。因此，徐光启又督率历局人员在汤若望指导下，绘制了《黄道二十分星图》，即将《黄道总星图》扩大改画，分划为20幅分图。第一幅为紫微垣图。它与《见界总星图》的紫微垣略异。后者以天球北极为心，恒见圈为界。前者“取三径均平止二十二度半，盖以黄极为极，则恒见诸星不复可证也”。[④] 末一图与第一图相仿，是南黄极附近诸星。这是北极分图与南极分图，直径各45°即其范围为黄纬22°.5。中间系将十二次依每两次分成6块，每块复分上、中、下3片。上片上狭下宽，下片上宽下狭，狭处可与北极及南极分图相衔接，宽边则与中片矩形黄道带相衔接，这是黄道北界、南界与中界各六分图。每片左右均得黄经60°，6片合得360°；上下均为黄纬45°，3片加两级分图共计黄纬180°，即+90°与−90°。图上还绘有斜络之赤道与天汉，星体亦分六等并亦有气。



① 或有以中国古星图上不注星名的多余星点，选取一二作为客星的，显然缺乏足够和必需的条件。
② 《恒星历指·恒星经纬图说》“第二赤道南北两总星图说”。
③ 《恒星历指·恒星经纬图说》“第二赤道南北两总星图说”。
④ 《恒星历指·恒星经纬图说》“第四黄道二十分星图说”。



这种星图，后来英国出版的诺氏星图（Norton's star Atlas）与之颇为相似，不过上、中、下3片已连成一片了。

各图的星数，据《恒星历表》应为1366，然而《恒星历指》"恒星无数"一节称：

> 西历……共得一千七百二十五。其第一等大星一十七，次二等五十七，次三等一百八十五，次四等三百八十九，次五等三百二十三，次六等二百九十五。盖有名者一千二百六十六，余皆无名矣。

若此，则撰《恒星历表》做重测时，是不是增加了100星？

《崇祯历书》成书时间短促，大规模的恒星测算，错误自是难免。对于恒星表的嗣后修正与遗留下来的个别讹误，我们是不能苛求于前人的。

2. 赤道南北两总星图

徐光启病重上疏荐李天经代己并汇报工作情况时，曾提到有"恒星总图"八幅与其他二十九卷书业已誊缮。[①] 其后，李天经进呈第四次历书时，制成"恒星屏幛"一具，作为单件上报，这是一套大型的《赤道南北两总星图》。后来，自从汤若望于顺治初进呈补刊本，上了经挖改的8幅图以后，它就在成套的《西洋新法历书》内消失了。目前，故宫有八幅屏条，装裱在绢纸上，天空着以蓝色，星点金色，天汉白色，题为《赤道南北两总星图》，就是汤若望清初的进呈本。法国巴黎的国家图书馆也保存着一套清印本。徐光启作于崇祯六年的初刻本，目前仅梵蒂冈图书馆收藏有着色的两套[②]。徐氏撰《赤道南北两总星图叙》时所署太子太保、文渊阁大学士职衔授予崇祯六年七月二十五（公历8月29日），入内阁办事为七月二十九（公历9月2日），而徐去世于十月初七（公历11月8日），故知此文当作于是年八、九月（公历9、10月）间。从沉疴日益加深来判断，约当作于该年八月（即1633年9月）。故知此图实为徐氏临终前的最后一项作品。刻版印刷，需要一定时间，故问世时间估计约在次年春季。可是邬明著绘制的装祯为屏幛的彩色原图，当已与《崇祯历书》誊缮本在崇祯十七年三月宫内大乱时一起消失了。



这是一套极为重要的星图。首先在于它包含的恒星数有1812颗。由于崇祯四年的《恒星历表》仅列1366星，西方星表如前述到那时为止，最多只有1725星，经观测命名分等的只1266星，而崇祯六年的这套图星数增加了很多。据第八幅图汤若望《赤道南北两总星图说》所记，计一等星16，二等67，三等216，四等522，五等419，六等572，合共1812。当与1266星相校时，一等星少1，这是分等的调整，二等多10实多9，三等多31，四等多133，五等多96，六等多277，合多546星。比

① 徐光启：《历法修正告成书器缮治有待请以李天经任历局疏》，崇祯六年九月二十九。

② P. M. D'Elia, "The double stellar hemisphere of Johann Schall Von Bell S. J.", 载"Monumenta Serica" XV I II, 1959年。

诸历局初测的1366星，则表明，在徐光启的领导下，两年内又新观测和归算了446星。17世纪上半叶时，世界上还没有一部星表或一份星图，能包含如许多的恒星，并且黄赤道经纬度都齐全。只有在对科学事业坚毅地抱执著态度，像徐光启那样人物的强有力的领导下，方能于短期内完成这种大规模观测并绘制这类巨幅彩色星图[①]。这时期，丹麦的第谷在1576年至1592年间曾观测了一批恒星。1597年至1598年他整理了他的观测记录，编制了一部包括1000颗星的星表。然而内中只有777颗星曾做过适当的观测，其余200多颗只是忽忽添入，作为凑数，以使星数与托勒密星表相埒。该星表发表于1600年。[②] 他的助手龙谷蒙塔纳(Longomontanus)摘录了这777星，增添内容，收于他的著作中，出版于1622年[③]。后来，开普勒又将这1000星的星表收于他最后的巨著鲁道尔夫星行表(Tabulæ Rudolphinæ)内，出版于1627年。徐光启的工作明显地超过了第谷与鲁道尔夫表的有关内容。甚至到康熙年间，南怀仁撰《灵台仪象志》，他的恒星表也是以徐光启领导下所完成的星表为基础的，增加的星，极其有限。[④]

八幅星图的第一幅为徐光启的《赤道南北两总星图叙》，末一幅为汤若望的《赤道南北两总星图说》。中间六图为星图。制图者为历局访自民间任"访举"之职的邬明著，从事测量的为徐光启的外甥陈于阶等八人。两图虽以赤道为界绘成两份圆图，图上却既有天球南北极，又有南北黄极。与赤道交叉的黄道并非圆弧形，而是个椭圆，符合太阳的实际行度，这亦是此图的特点。黄道按360°分划，赤道则在边界处加绘五圈，格式与《见界总星图》相同，有360°及365.25度两种尺度，并着有颜色。赤道坐标系有二十八宿宿度线。黄道坐标系则有十二宫宫度线。此宫度线绘成曲线，符合天度。与见界图相比，十二宫内加注二十四节气，二十八宿按古度列算的宿度更改了下列两处：原本牛宿9度59分，女宿8度62分，此图改为牛宿6度94分，女宿11度28分[⑤]。于是，两宿相加，前者为18度21分，后者得18度22分，多了1分。前文提到二十八宿合计共365.22度，其中有斗、井二宿于秒数进位时各漏进1分，实为365.24度[⑥]，尚缺1分。此图牛、女二宿更改后，全数即补足为365.25度。不过图上斗、井二宿宿度仍抄见界图而未及修正。按现代公式计算。

---

① 参阅桥本敬造："The Hêng Hsing P'ing Chang and Ch'ih Tao Nan Pei Liang Tsung Hsing T'u: The star catalogue and atlas in late Ming China"，打印稿，1984年。

② 载于第谷的Progymnasmata卷一。

③ 载于第谷的Progymnasmata卷一。

④ 《灵台仪象志》收星1856颗。其坐标以《崇祯历书》的《恒星表》数值加上岁差换算而得。

⑤ 改正的全数实为牛宿6度93分61秒，女宿11度27分57秒。

⑥ 斗系24度75分58秒，秒进位得24度76分，井系33度29分53秒，进位得33度30分。图上分别写作24度75分及33度29分，各缺1分。



崇祯元年时，牛、女二宿宿度应为6°51′34″及11°6′42″，折古度6度96分及11度27分37秒。误差分别是2分及1分，表明此项修改是合理的。由此还可看出，前述其余各宿多有更改，那是崇祯七年以后徐光启身后的事了。徐光启所制的仪器与陈于阶等人的测量都采用西方360°制，古度都是换算而得的。图上的二分点亦与《见界图》一致，并未变动。距秋分点45°处，自圆心天球南北极至赤道，绘有带分划度的子午线一条，南北赤纬各90°。星等图例，即星的画法，则与《见界图》不尽相同。星分七种，除一等至六等及气外，旁注有"凡增入者旁有一圈别之"，故增星之旁另附有一小圈，颇易识别。尤其令人感兴趣的是，图上初次绘出了南天大小两麦哲仑星云。据桥本敬造对星图做了考证后的校核，徐光启主编的星图，星的画法类似于葛良伯格(C. Grienberger)1612年版的星图，他认为从这方面说，中国的天文学成功地吸收了当时欧洲学术的各种知识。[①] 我们可以看到，这一套星图，完整地汇集了赤道坐标系和黄道坐标系，中国的古度和西方的360°分度，在方位天文学范畴它是当时世界上内容最丰富的星图，也是清晰美观能一览无遗的最大型星图。国事蜩螗政务缠身之际，垂暮的徐光启以衰病之年，布置测绘，在临终前两月，终于编绘成这八幅具有历史意义的星图，其贡献是巨大的。

四、对徐光启的评价

对徐光启的一生，后人几乎都是褒辞，这是颇不寻常的。他生于朝政腐败的明末，亲历着民生凋敝、内外交困的艰难时刻。他为生民忧虑而深研农学，不特著作不辍，更且身试耕植。外患日亟，他究习军事，练兵制器，屡陈方略，亦亲与抗敌。中年入仕，不树党羽，"百尔焦劳"[②]为国尽瘁。他官居一品，盖棺之日，却宦邸萧然，囊无余资，只剩敝衣数袭，残银一两，余惟"著述手草"[③]而已。同里陈子龙称他"海内具瞻……生平所学，博究天人，而皆主于实用"[④]，这是徐光启学术活动的最大特点。查继佐说："求精责实四字，平平无奇，文定持之终身不衰。……观时深而验物切，以为求治，终不能易此。"[⑤]

徐光启十分好学，素来重视天文历法，反映在他与友人的讨论中。人们得知他们对"象数之学曾溯源承流，根附叶著，上穷九天，旁该万事"。[⑥] 他的思想是开明的。对待天文历法，他认为"今之法可更于后，后之人必胜于今"。他注



① 见前引桥本敬造文。

② 徐骥：《先文定公行述》。

③ 明查继佐：《罪惟录》"徐光启传"。

④ 明查继佐：《罪惟录》"徐光启传"。

⑤ 《陈忠裕公集》"陈子龙年谱"。

⑥ 徐光启：《同文算指》序。

重实践，每每亲身参与测验，曾留下大量测影记录，后被李天经引作校对之用。清阮元在《畴人传》内评论道，徐光启"督修历法，殚其心思才力，验之垂象，译为图说，洋洋乎数千万言，反复引申，务使其理其法，足以人人通晓而后已……迄今言甄明西学者，必称光启。……其识见造诣，非文魁、守忠辈所能几及也"。这确是贴切的评语。

西方研究者，常将历书之作主要归之于汤若望，这并不符合历史事实。就《崇祯历书》而言，徐光启不只是历局的行政负责人和组织者，他还是实际上的"督修"，即主编者。整部历书，原则方针是他确定的，工作计划是他制订的，全书内容，有的他参与翻译，大部分他加以校订，百分之九十均经他亲手修改[①]。从他的前后疏中可知："释义演文，讲究润色，校勘试验，独臣一身"；当国务繁忙他如"不在局，尚未能修润成书也"，他只得"于归寓夜中篝灯详译，理其大纲，订其繁节"，这绝不是他自我吹嘘。为《农政全书》作序的张溥曾在徐光启身边就过，他"亲见公推算纬度，昧爽细书，迄夜半乃罢"，"唯一老班役，衣短后衣，应门出入传语"。他慨叹道："古来执政大臣，廉仁博雅，鲜公之比"。[②] 对于汤若望、罗雅谷等人，徐光启并不抹杀他们的劳绩。例如，第三次进呈书目中《月离》十卷写明系"罗雅谷译撰"；《交食》十卷写明"汤若望译撰"；边防吃紧使修历暂缓，汇报工作时明称，三座象限、纪限大仪系邓玉函与陈于阶等制造；第二次进历书时，他曾明说"两臣（指汤、罗）与在局人员日算夜测"，等等；对于恒星总图八幅来说，亦非常明确是历局人员承担观测、计算与绘图，汤撰说明，罗任校阅，徐为之作序。因此，在译述上汤若望与罗雅谷、龙华民、邓玉函等都有贡献，他们亦是教士，但徐光启毕竟是位亲自动手深入实际的主编。入清后，汤挖改明版，更易书名，虽删减传教士及历局人员名单，他还不敢贬低徐光启。所以这一项伟业实为徐光启对中国天文学及科学的一大历史贡献。继之者，康熙时期又曾研治西方历算之学，咸丰、同治年间的李善兰则译述以算学为主的西学，要等到严复留英返国译亚当斯密《原富》、赫胥黎《天演论》等《严译世界名著》时，方才又大量介绍西方近代科学，而三个半世纪前的徐光启实为引进西学的首创者，中西文化交流的倡导人。



（撰稿人：潘　鼐）

① 见《治历缘起》各奏疏。

② 张溥：《农政全书序》。



第八章　清代天文学家

第一节　王锡阐

一、时代与生平

王锡阐(1628—1682)，字寅旭，号晓庵[①]，江苏吴江人。他的青少年时代正是明朝灭亡，清兵进入北京，明王朝残余势力和各地抗清力量迭经苦战、终被消灭这样一个民族矛盾激烈冲突的时代。当时王锡阐曾两次自杀，均因获救而未果。此后他即抛弃了科举考试的道路，不求仕进，只是一心钻研学问。他危冠古服，不用清政府铸造的钱。一些俗人讪笑他，他毫在不意，照样街巷阔步。

可是，王锡阐并不是一个傲然自赏的孤僻者，凡有人和他谈论古今时，他可以与之纵横不穷。他也并不独立于世，有许多明末遗民是他的朋友。其中如与他合著《明史记》的潘柽章和吴炎，以及吕留良等，后来均受到文字狱的摧残。他的挚友里最著名的是启蒙思想家顾炎武。后者对他的工作和为人都极为推崇。王锡阐和这些人的友情，在他的诗文中有很多反映。他们对他的思想和生活也有深刻影响。

王锡阐家境贫寒，当过家庭教师，晚年贫病交加，间至绝粮。正因为贫困，致使他较早地离开了人世。他的一生虽然落魄，却毫不懈怠其治学之志。除了研究儒家经典外，他尤其醉心于天文历法。他并无师授，只靠自己的刻苦钻研，弄通了中西历算之道。这些在他人是目眩心迷的学问，他却能手画口谈，如指黑白。每逢夜空晴朗，他就仰卧屋脊，观测星象。为此可以竟夕不寐，其用功之苦可见一斑。

明末清初，罗马耶稣会派遣了一批传教士来到中国。他们传入了大量不为当时人所知的欧洲天文学知识。当时，以代数方法为特色的传统历法——大统历因年久失差，而以几何方法为特色的西洋方法则显示出不少优越之处。经过一番斗争，明政府终于在崇祯二年(1629)，授命徐光启组织历局，系统翻译西方天文学知识。其成果即著名的《崇祯历书》。入清后，日耳曼传教士汤若望将这部历书删改

① 本节主要参考了席泽宗《试论王锡阐的天文工作》(以下简称《试论》)一文。该文刊于《科学史集刊》1963年第六期。限于篇幅，本文征引该文之精辟议论，即不详述，敬请读者查阅原文。王锡阐又有字曰昭冥(肇敏)，号余不，别号天同一生。



为《西洋新法历书》，根据这部历书所推算的历本被清政府采纳颁行，称为《时宪历》。汤若望并被任命为钦天监监正。从此，西洋方法在中国取得了统治地位。

当时，对传教士所传的知识盲目崇拜者有之；而极力排外，"宁可使中夏无好历法，不可使中夏有西洋人"者也有之。与这两种极端偏向不同，王锡阐的研究工作都却是力图贯通中西，以求推陈出新。对他的工作，当时负有盛誉的数学、天文学家梅文鼎曾说："近数十年每有著书言历法者，虽不能尽见，然见则必为录副。以所见论之，实未有过王先生者。"[①]"惜乎不能早知其人，与之极论此事。"[②]《清史稿》中亦说到："薛(凤祚)、王之学皆不列于台官。然其精密，成为台臣所不及。"[③]由此可见王锡阐在当时历家中地位之高。

王锡阐的著述生前无力刊刻，死后亡佚不少。现存天文学方面的论著约有九种，另有讨论天文历法的书信四封。其中较重要的有《晓庵新法》六卷，该书完整地介绍了历法计算的全过程；《历说》、《历策》和《晓庵新法自序》主要是对西法的评论；《五星行度解》、《日月左右旋问答》两文反映了他的宇宙观念；《推步交朔序》和《测日小记序》则记载了不少在观测方面的精辟见解。

二、《晓庵新法》

《晓庵新法》是王锡阐最主要的著作。他在这部书的序言中写道："据彼(西人)所述其历法亦未尝自信无差……且译书之初，本言取西历之材质，归大统之型范。不谓尽堕成宪而专用西法如今日者也。余故兼采中西，去其疵类，参以己意，著历法六篇。"简要分析一下这六卷(篇)术就可知道，王锡阐的确是像他在序言中所说的那样去做的。



卷一，内容之一是介绍有关三角函数的知识，其中给出了两角之和及差的正弦公式。卷中还给出了三种划分圆周度数的方法，即分全周为 384 等份，每份称作爻限；按西洋历法，分全周为 360 等份，每份称作度限；按中国传统历法，根据以日为单位的回归年长度值(岁周)均分全周，每份称为度限。本书各卷主要采用度限，但是爻限、平限等也可旁通互换。

卷二，列出各种基本的天文数据，其中包括一系列与西洋方法中的小轮体系有关的数据，如：

朓朒准度，即：本轮半径/均轮半径[④]；

---

① 梅勿庵与潘稼堂太史书。
② 梅文鼎：《勿庵历算书目·王寅旭书补注》。
③ 《清史稿》卷四五"时宪志"。
④ 以下各轮的意义见下文关于卷三的介绍。



朓朒准分，即：均轮半径/本天半径；

朓朒中准，即：次轮半径/本天半径；[1]

远近中准，即：本天半径/地球半径；

中纬准分，即：行星次轮心轨道平面对黄道倾角的正弦。

上述各项数据均取自《西洋新法历书》(以下简称《西历》)。本卷中其他基本数据则或与《西历》略有微差。

卷三，主要是以小轮体系来求日、月、五星的位置，定朔、弦、望时刻的方法。下面举例以说明之。

1. 求行星行定度(即相对于地心的行星经度位置)

图8－1中，E为地心。以E为心，以地、星平均距离为半径的大圆AD即行星的本天。D为行星轨道近地点方向在本天上的投影。本天上的A点为某行星本轮中心在所求时刻的位置。本轮心以该行星的平均速度逆时针方向运动。本轮上的C点为行星的均轮中心，以与A点相同的速度顺时针方向运动。均轮上的S点为行星的次轮心，它以2倍于A点的速度在均轮周上逆时针方向运动。行星P则在次轮周上逆时针方向运动。

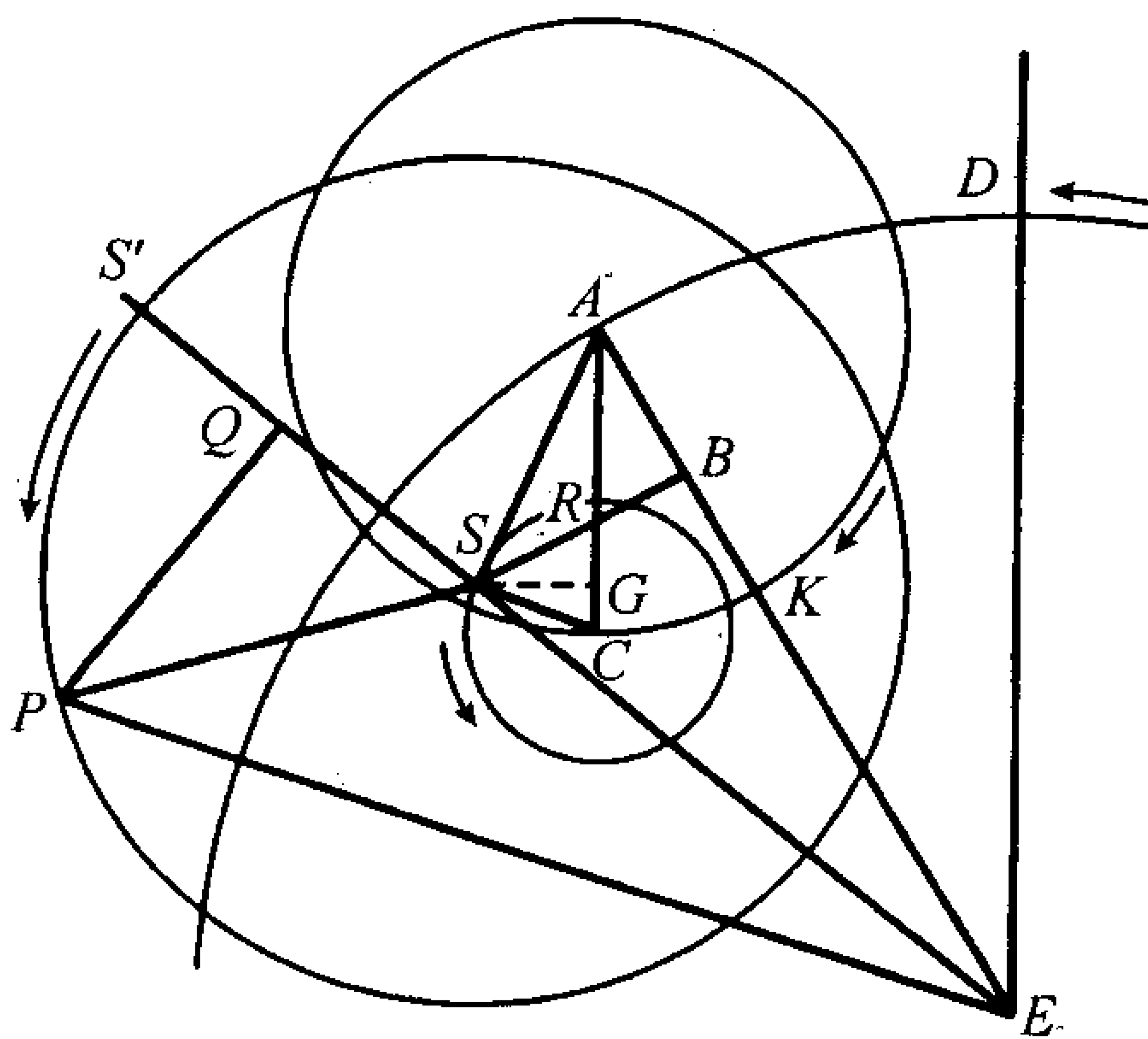


图8－1　本轮均轮示意图



今$\angle AED$为已知(等于行星的平均速度乘行星过近地点后到所求时刻的时间间隔)。则求行星行定度的运算可分为两步：

(1)求$\angle SEA$(称为朓朒差)及次行(次轮心S的经度位置)。

先求$\angle SAG$：

$2\times\angle AED$(朓朒初末限)$=\angle SCR$

① 此值在外行星称中准，在月亮称外准，在内行星称后准。

$\sin\angle SCR = SG$(勾)[1]

$AC \pm \cos\angle SCR = 3 \pm \cos\angle SCR = AG$(股)[2]

$SA = \sqrt{AG^2 + SG^2}$

$SG/SA = \sin\angle SAG$，由此可得$\angle SAG$。

再求$\angle SEA$：

$SA \times$朓朒准分$= SA$(以本天半径为单位，下同)

$\angle SAG + \angle CAE$(即$\angle AED$)$= \angle SAE$

$SA \times \sin\angle SAE = SB$(勾)

$1 \pm SA \times \cos\angle SAE = BE$(股)

$SE = \sqrt{SB^2 + BE^2}$(远近初分)

$SB/SE = \sin\angle SEA$，由此可得$\angle SEA$。

将A点的经度位置[3]$\pm\angle SEA$[4]，即得S点的经度，即该行星的次行。

(2)求$\angle PES'$(称为朓朒次差)及行定度。

先求离度：

对于火、木、土三行星，即以离度等于行星次行减去太阳次行后的差数。太阳次行的求法原则步骤与行星完全一样。

对于金、水二行星，则离度＝距合度$\mp\angle SEA$[5]。

按西历小轮体系的规定，即取$\angle PSS'$＝离度。

次求$\angle PES'$(朓朒次差)及行定度：

PS＝太阳远近初分×朓朒中准＝朓朒后准(对于火、木、土三星适用)

PS＝朓朒后准(金、水二星适用)



$PS \times \sin\angle PSS' = PQ$(勾)

$SE \pm PS \times \cos\angle PSS' = EQ$(股)

$PE = \sqrt{PQ^2 + EQ^2}$(远近次分)

---

① 此时设均轮半径$SC=1$。

② 在$SC=1$时，AC＝朓朒准度了。又，式中$\cos\angle SCR$前本应一律取负号。但是当$270°>\angle SCR>90°$时，$\cos\angle SCR$为负值，而在古代，三角函数一律取作正值，故当$270°>\angle SCR>90°$时，$\cos\angle SCR$前改取正号。这种情况在《晓庵新法》中经常遇到。本文以后不再注明。

③ 因A点是以平均速度移动的，故A点的经度在原书中称为平行经度。它们(包括日、月的平行经度)都是按中国传统从冬至点起算的。对于金星、水星，当时西历认为其平均运动即太阳的平均运动，故A点的平行经度即太阳的平行经度(以太阳的平均速度乘所求时刻距太阳过冬至点的时间间隔)。对于火、木、土三星，其平行经度等于太阳平行经度减去所求时刻行星离太阳的平均距离(它也是按平均速度计算的，称为距合度)后的余数。

④ 当$\angle CAE$，即$\angle AED<180°$时，式中$\angle SEA$前取正号。当$180°<\angle CAE<360°$时，$\angle SEA$前取负号。

⑤ $\angle SEA$前的符号与本书1017页注③注④相反。



$PQ/PE=\sin\angle PES'$，由此得$\angle PES'$。

行星行定度＝次行$\pm\angle PES'$①

王锡阐的方法与西历相比有几点不同之处：

(1)五星都用同一模式求行定度。这一计算模式较为简便，取自《西历》中第谷门人照托勒密方法所作的图形。而《西历》中计算五星并无统一模式。例如，土、木二星用上法，而火星计算则依据第谷的五星绕日运动体系。

(2)《西历》仅火星诸轮中代表太阳绕地运动的轮的半径有变化(因太阳运动不均匀)，王锡阐《新法》则更进一步，火、木、土三星次轮的半径均随太阳运动而变化。

(3)由于次轮反映的是太阳绕地的运动，因此与其余三轮不同，它不在行星轨道面上，而是平行于黄道平面。考虑到这一点，新法不同于《西历》之取远近次分为地星距离，而是试图计入次轮倾角的影响。王锡阐的这一计算写在卷四中，求出的距离称为远近定分。

(4)由于月亮运动较为复杂，《西历》在次轮上又加一次均轮。《新法》则仍旧只用四轮，但月亮次轮中心不住均轮上，而改在AS延长线上的另一点。

由此可知，王锡阐在运用西洋方法的同时力图加以改进，以使其更统一、更自给。

2. 定朔时刻

《晓庵新法》中，凡谈及时间改正的问题(如日出入分、昏明分、食甚定时等)都使用了泛时的概念。现举求定朔之法以示其详。

定朔是日月真黄经相等的时刻。设$\Delta\lambda$为真黄经与平黄经之差，t_0为平朔时刻，此时日月平黄经相等，设为$\bar{\lambda}$。

(1)求第一次近似。

$$\text{平朔时太阳真黄经 }\lambda_{s1}=\bar{\lambda}\pm\Delta\lambda_{s1}$$

$$\text{月亮真黄经 }\lambda_{m1}=\bar{\lambda}\pm\Delta\lambda_{m1}$$

式中λ_{s1}即平朔时刻的太阳朓朒差，λ_{m1}乃平朔时刻的月亮朓朒定差(其求法颇繁，本节从略，有兴趣的读者可参看原文)。

因为在一个朔望月内月亮平黄经比太阳平黄经增加了整整一圆周，故以月周(朔望月)去除岁周，即得平均每天日、月平黄经相差的度数，称之为月平离。则：

$$\Delta t_1=\frac{\lambda_{m1}-\lambda_{s1}}{\text{月平离}}=\frac{\pm\lambda_{m1}\mp\Delta\lambda_{s1}}{\text{月平离}}$$

$$t_1=t_0+\Delta t_1$$

① $\angle PES'$之前的符号取法：当$0<\angle PSS'<180°$时，取正号。当$180°<\angle PSS'<360°$时，取负号。



Δt_1 称为加减泛差。t_1 称为前泛时，即定朔的第一次近似。

(2)求第二次近似。

求 t_1 时刻的 $\Delta\lambda_{s2}$ 及 $\Delta\lambda_{m2}$；

$\Delta t_2=\dfrac{\pm\Delta\lambda_{m2}\mp\Delta\lambda_{s2}}{\text{月平离}}$，称为加减次差

$t_2=t_0+\Delta t_2$，称为后泛时

(3)求第三次近似。

求 t_2 时的 $\Delta\lambda_{s3}$ 及 $\Delta\lambda_{m3}$，则：

$\Delta t_3=\dfrac{\pm\Delta\lambda_{m3}\mp\Delta\lambda_{s3}}{\text{月平离}}$，称为加减后差

$\Delta t'_3=\Delta t_3+\dfrac{(\Delta t_3-\Delta t_2)^2}{\Delta t_2-\Delta t_1}$，称为加减定差

定朔 $=t_0+\Delta t'_3$。

上述方法的第一、二步可反复使用多次，最后再求加减定差。

这一方法的前两步与《西历》相同，最后求加减定差则为王锡阐的发明，其目的是使计算简化而仍能保持精密。

由于 t_1 不是平朔时刻，因而 t_1 时太阳和月亮的平黄经并不相等。这样上述第二步中求加减次差的公式就不准确了，应该改用：

$$\Delta t_2=\frac{\lambda_{m2}-\lambda_{s2}}{\text{月平离}}$$

同时 t_2 也不应等于 $t_0+\Delta t_2$，而应该是 $t_0+\Delta t_1+\Delta t_2$。《西历》与王锡阐在此都犯了错误。

3. 关于黄白交点的运动



《晓庵新法》在求月亮纬度时，涉及求黄白真交点的位置问题。当时传入的《西历》不但认为黄白交点有退行，而且退行在一个朔望月内速度变化两周，即真交点绕平交点做周期摆动。对此，王锡阐用下面的方法解决了这一问题。图 8－2 中 θ 为真交点与平交点之差，称为交行朓朒差，E 为地心，M 为平交点，m 为真交点。设绕 M 点以半个朔望月的周期匀速运动。又设 $ME=1$，则：

$$mZ=Mm\times\sin\angle mMZ$$

$$EZ=1-Mm\times\cos\angle mMZ$$

$$\sin\theta=\frac{mZ}{\sqrt{mZ^2+EZ^2}}$$

$\sin\theta$ 的最大值，即 Mm，称为交周朓朒准分，列于卷二中。根据 $\sin\theta$ 可求 θ。

卷四，包括日出入时刻，昏明时刻，日月五星视直径，暗虚（即地影）直径，月星



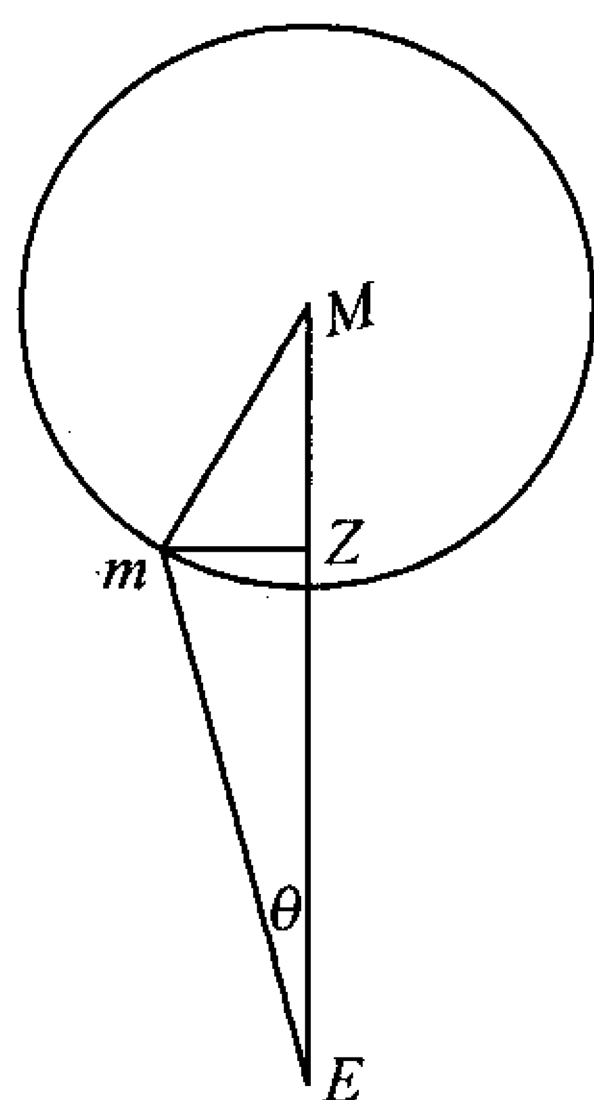


图 8－2 黄白平交点与真交点

伏见等项目的计算。其概念和方法大致与《西历》同[1]。

卷五，介绍时差、视差、月体光魄定向（日月两圆面中心连线的方向）及晨昏日月径等的计算。其中最重要的是月体光魄定向的计算。它的算法也被使用于日月食的亏复方位及五星凌犯的方位计算中。《西历》及中国古代对日月食的亏复方法仅有较粗略的估算。王锡阐则独创了精确的计算方法[2]。这一方法为后来清政府编的《历象考成》(1722)所采用。

此外，《西历》求交食时所用的日月视径是以地心为心求得的。《晓庵新法》中则采用晨昏日月径，即由地面上视地平高度而变的日月视径，其考虑比《西历》更为细致。

卷六，主要为日月食及五星凌犯的计算，方法大致与《西历》相同。王锡阐还在此卷中提出了一种金星凌日的计算方法[3]，其原理与日月食计算同。此项计算在中国传统历法中还是第一次，而当时的《西历》也未介绍，乃是王锡阐举一反三、独立思考的结果。



由上介绍可知，《晓庵新法》是一部以西法为基础，并考虑了传统方法的历法著述，其中诸多增改反映了王锡阐的独到见解。

三、对西历理论的探讨与评论

对西历的探讨与评论在王锡阐的天文工作中也占有重要地位。王锡阐认为，西历确有其优点，然而，“以西法为验于今，可也；如谓不易之法，无事求进，不可

① 参见席泽宗:《试论》。
② 详见席泽宗:《试论》。
③ 详见席泽宗:《试论》。

也。"[①]"以为测候精详,可也;以为深知法意,未可也。循其理而求通,可也;安其误而不辨,不可也。"[②]基于这种思想,王锡阐对西历进行了多方研究。综观其各篇文间中的观点,可归纳为以下几个方面。

1. 五星运动理论

在讨论这一问题的《五星行度解》中,不同于《晓庵新法》中所采用的计算图式,王锡阐采用了第谷的宇宙图形。图 8—3 中 E 为地球,S 为太阳,M 为月亮,它们各在自己的轨道上绕地球运行。以 S 为心的五个圆依次为水、金、火、木、土五行星的绕日运行轨道,称为各星的本天。从地球上看来,行星的运动及由五星绕日及日绕地两部分运动合成。

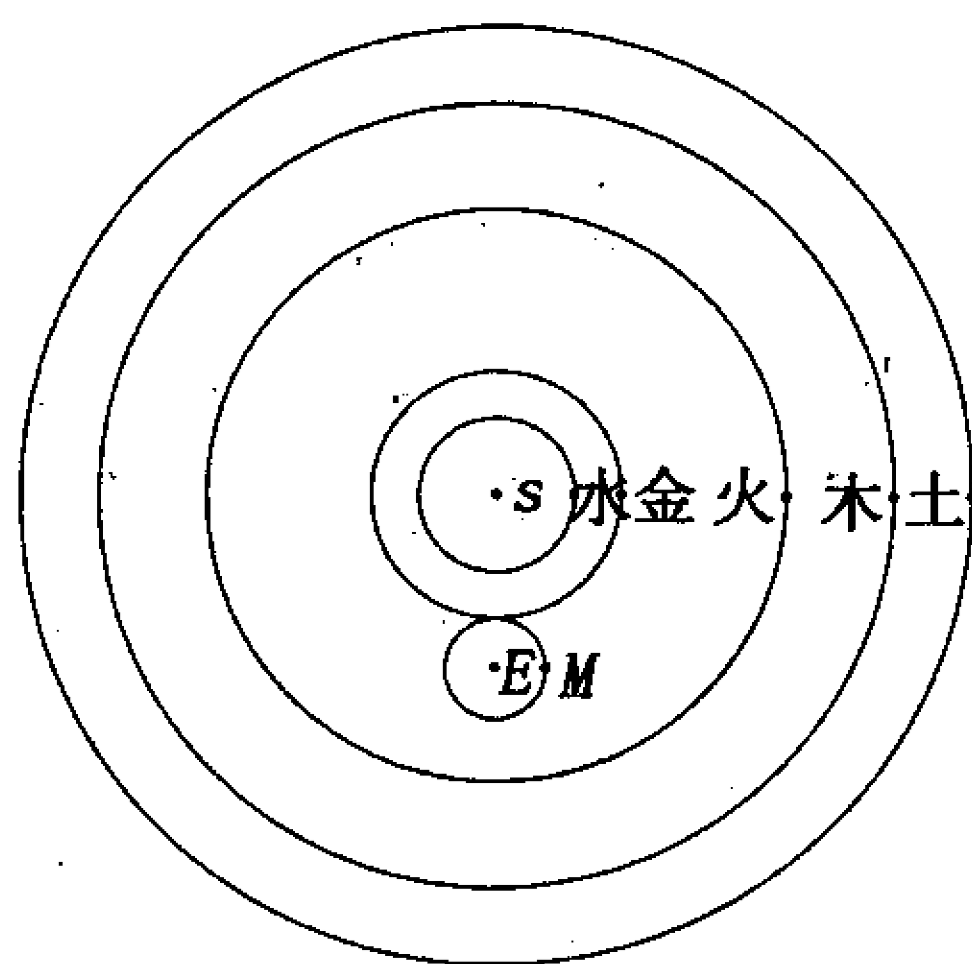


图 8—3 第谷宇宙模型

《五星行度解》以较多的篇幅根据上述图形来讨论五星位置的近似求法[③](谓其近似,因未加小轮的改正)及迟疾留退的现象。

必须注意的是,在第谷体系中,五星都在其本天上右旋(自西向东运行)。王锡阐则再三强调火、木、土三星应为左旋:"左旋之数,土最疾,木次之,火又次之。自右旋论,则疾者反迟,迟者反疾。故合日在最高者,法应迟而视行为疾;冲日在最卑者,法应疾而视行为迟为退。"另外,该文中还列举西法六误,并把它们都归结为"西历谓五星皆右旋,故抵牾至此"。

今任意以火星为例,如图 8—4,E 为地心。SS_1 为日行轨。S 为火星最高方向在日行轨上的投影点。设太阳从 S 行到 S_1。与此同时,按王锡阐的方法,那颗原来在最高位置上的火星将由 A 行到 B,逆行,速度快。而按西历则火星乃由 C 行到 B,顺行,速度慢。事实上,两种方法殊途同归,从运动学的角度看,左旋、右旋并

① 《晓庵遗书·历说》。

② 《晓庵新法自序》。

③ 详见席泽宗:《试论》。



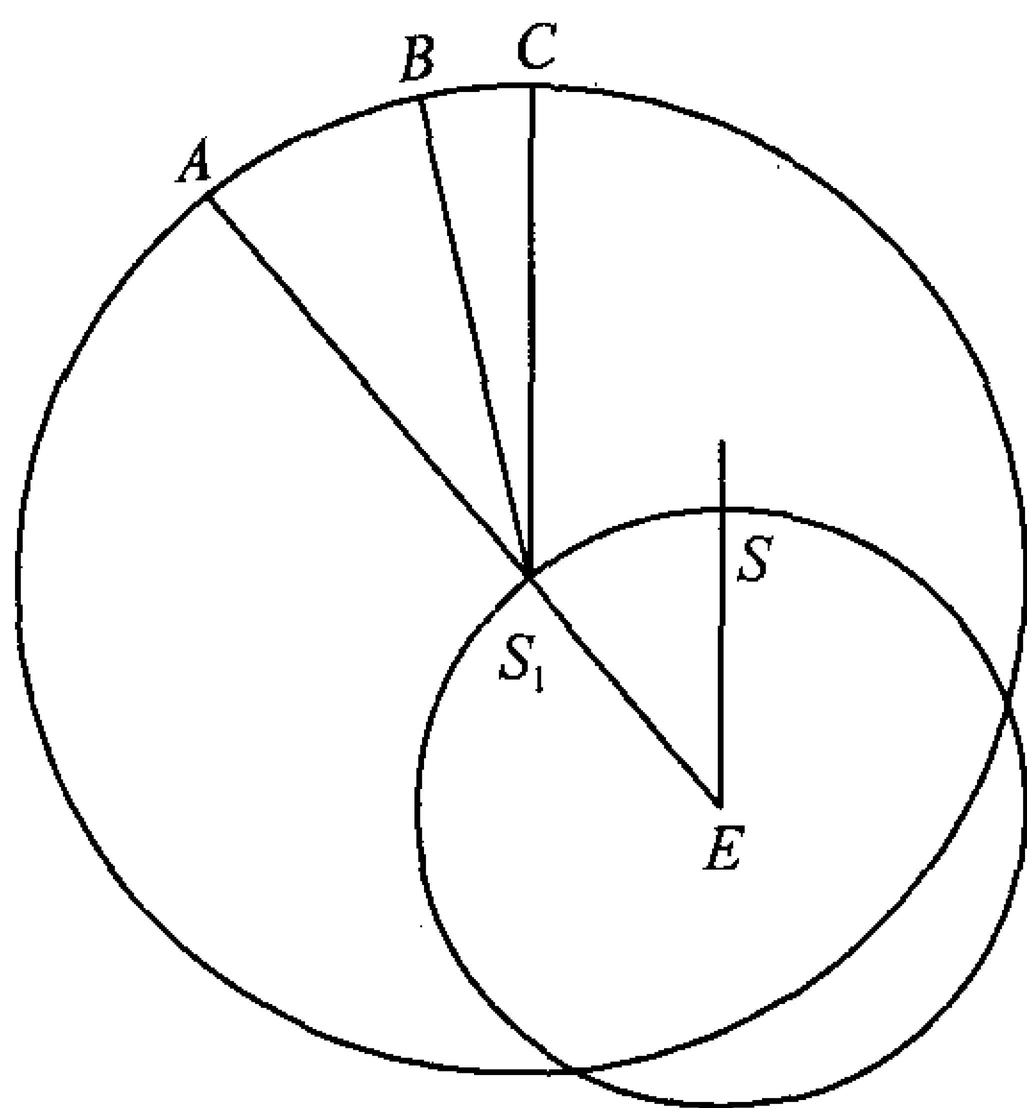


图 8－4　王锡阐所主张的行星左旋说

无本质的区别。因此，王锡阐在《五星行度解》中所批评的西法六误，大部分是无所谓的。至于从行星运动的真实物理图景来看，可以说，左旋说比右旋说离实际更远一些。

王锡阐在《五星行度解》中还表述了一种引力思想。这一思想曾得到很多研究者的重视。它的提出，是为了从物理机制上说明行星绕地球运动时何以离地会有远近。从运动学的观点来看，托勒密体系运用本天上加一本轮的方法，就说明了行星会有最高(离地最远)和最卑(离地最近)的运动。但这并不是物理机制上的说明。而王锡阐则正企图这样做。他说："历周最高、卑之源，盖因宗动天总挈诸曜，为斡旋之主。其气与七政相摄，如磁之于针。某星至某处，则向之而升；离某处，则违之而降。"西历虽曾以"太阳于诸星如磁石于铁，不得不顺其行"[①]来解释行星随日运动的力学原因，但是王锡阐与西历讨论的问题又有所不同，这一探讨是可贵的。不过他没有把引力归结于太阳，而反了方向归之于虚渺的宗动天，此为其逊于西历之处。



2. 日月食

日月食的预报，自古备受重视。西历推算日食确比传统方法为准。这是导致明末改历的主要原因之一。王锡阐对西法的长处给予了充分的肯定。他说："推步之难，莫过交食。新法(指西历)于此特为加详，有功历学甚钜。"[②]然而西历也并非无差。王锡阐举出几个实例，西法均有失时失分之误。其致差之故，他认为有下面几点。

其一，日食食甚不在定朔，其初亏、复圆离定朔更远。月食仅食甚在定望，初

① 《西洋新法历书・五纬历指》卷一。

② 《历说》。

亏、复圆距定望有差。而西历“乃言交食必在朔望,不用朓朒次差”①。

此点批评,王锡阐有正确的方面,也有不当的方面。如图 8－5,S 为太阳,M 为月亮,OS 为黄道,OM_2M_1 为白道。月亮在 M_1 的位置,与太阳 S 同行度,为定朔。但此时并非亏食最大。亏食最大,即食甚应发生在 M_2 的位置。月亮从 M_1 到 M_2 之间需要一段运动时间。西历对这段时间未加考虑,只在定朔时刻上加上一段因月亮视差引起的改正,这是不精确的。

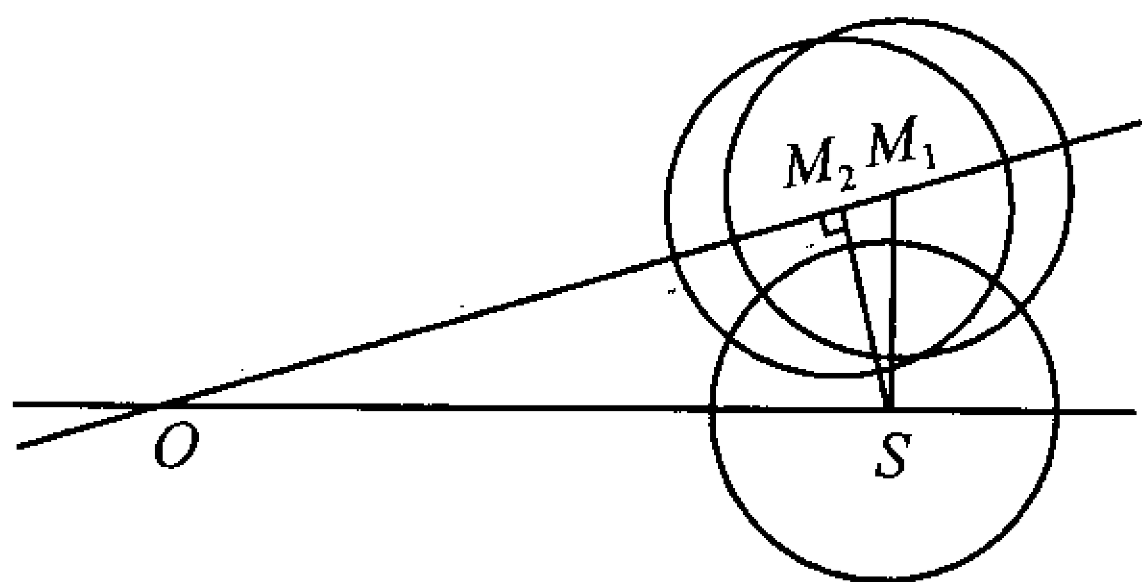


图 8－5 定朔食甚示意图

与日食同理,月食食甚亦不在定望,王锡阐的看法有误。另外,西历中初亏、复圆的时刻并不是从小轮体系中直接去推求的,而是在求出食甚时刻后,用三角学的方法,求出初亏、复圆到食甚之间的时间间隔,由此求得初亏、复圆的发生时刻。这种方法并不需要再考虑初亏、复圆时月亮的朓朒次差。王锡阐的批评不当。

其二,过太阳及过月亮的地平经圈与黄道的交角各不相同,过月亮的地平经圈与黄道及白道的交角也不相同。而在日食计算中,因月亮视差引起的各项差数,应与上述各种交角有关。对于这些,“历指不详其理,历表不著其数”,似乎仅用“黄道一术足穷日食之变”②。

以上两条批评在王锡阐撰《晓庵新法》时当已提出③。

但新法的交食计算仍与西历大同小异,这可能是修改起来过于复杂的缘故。

其三,算月食须求地影之大小。因地球大气影响,日光射过地球边缘时将发生偏折,故地影比光线直射时要小,西历对此有蒙气差的改正(图 8－6)。王锡阐认为“西人不知日有光径,仅以实径求暗虚。及至推步不符天验,复酌损径分以希偶合。”④这说明王锡阐并未接受正确的蒙气差概念,而采纳了当时中国学者的日有光径、实径之说。《晓庵新法》卷四求暗虚的计算就是如此。

其四,王锡阐批评西历说:“月在最卑,视径大,故食分小。月在最高,视径小,故食分大。余以为视径大小仅从人目,食分大小当据实径。太阴实径不因高卑有

① 《晓庵新法自序》。

② 《晓庵新法自序》。“历指”、“历表”均指西历中的有关著作。

③ 据席泽宗研究,《历说》可能作于 1659 年,《晓庵新法》成书于 1663 年。

④ 《晓庵新法自序》。



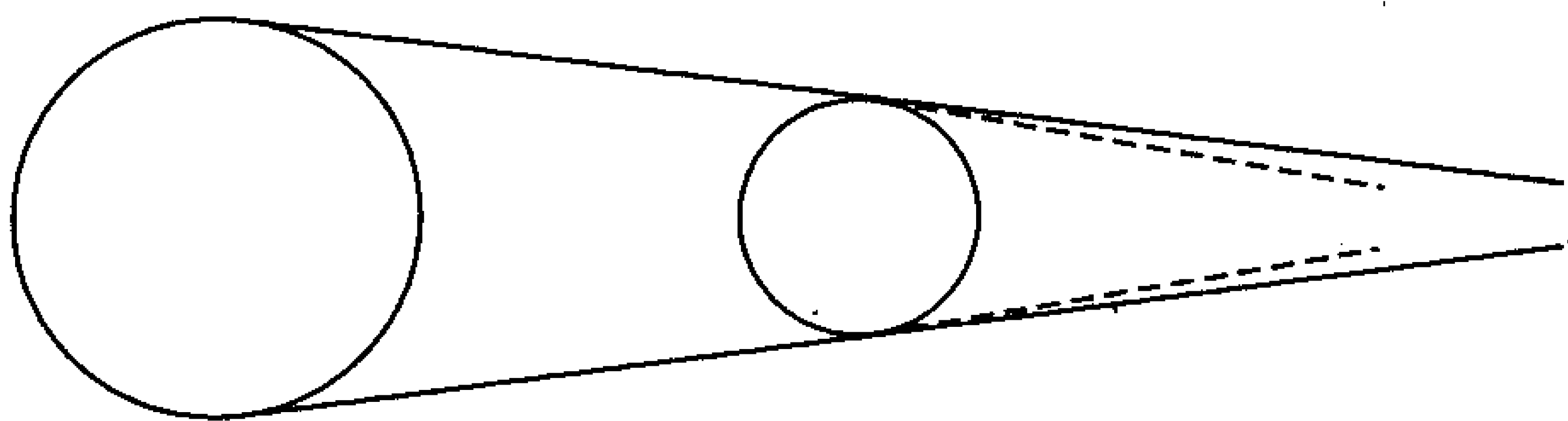


图 8－6　大气折射使地球影锥变小

殊，地影实径实因远近损益。最卑之地景大，月入景深，食分不得反小。最高之地景小，月入景浅，食分不得反大。"按西历：

$$月食食分=\frac{(月视经+地影视径)/2-月纬度}{月视径}$$

此公式本身并无不合理之处。而从西历所给数据看，月离地越近则食分越大，与王锡阐批评的恰恰相反。因此，这一批评实为未能领悟西历原文之故。

3. 关于岁实消长、节气与周天度数的划分

回归年长度在逐年缩短，古代称为岁实消长现象。对此，中历、西历都有考虑。当时用西法的学者提出两种解释。一说由于太阳轨道的中心（不是本天中心）与地心渐渐相近。一说由于黄极和赤极相距远近变化，产生岁差值的变化，因而与恒星年相较，回归年就有变化。王锡阐深入研究的结果，认为前一说是不对的。事实上他主张的是后一说。又，他对回归年减少的长远趋势也提出了疑问："不知亿万年后将渐消至尽，抑消极复长耶？"①由于当时整个天文学发展的水平所限，王锡阐所提的一些问题还不可能得到解答，他本人对这类问题的说法也不尽正确。但是像这样对事物本质做深入的研究，正反映了他探求理数之本的一贯主张。

在清代用西历之前，西历与中历的节气划分制度不一。西历用定气，历本上就反映出太阳运动的不均匀性；中历在历本上用平气，而同时用定气来进行与太阳运动有关的一些天文计算。中、西二法于应用上并无本质的不同。然而"历指直以怫己而讥之"②。王锡阐指出，这是不知法意之故。同时，对因采用定气排历日而引起的置闰规则复杂化，王锡阐也持反对态度。



对周天度数的分划，西历与中历也不同，分别用平限与度限两种制度。虽然西法的划分更为简便，王锡阐却坚持用度限。由此推论，按他的数据进行计算，必须有相应的新的三角函数表，且造表的方法也会很复杂，这不能不说是他的失当之处。

---

① 《历说》。

② 《晓庵新法自序》。

4. 西历中的数、表误差

王锡阐在《历说》及《晓庵新法自序》中，多次列举了西历中五星数据的错误，在《历策》又对历表提出了批评："日行惟一，而日躔表与五纬表差至五十五秒；月转惟一，而月离表与交日(食)表差至二十三分；日差惟一，而日躔与月离各具一表。"这些例子指出了西历中数据系统的混乱，同时也表明他曾做过大量认真的核算。

由上述归纳可见，王锡阐肯定了西历的宇宙理论和推算日月食的几何方法，但又在自己理解的基础上给予了批评。这些批评中有正确的，也有错误的。有些也反映了他未能接受某些正确的观点。但问题本身都是有一定深度的。

四、对王锡阐工作的评价

从上文的介绍可以看出一点，即王锡阐虽然对西历做了许多批评，但是他自己的工作仍然是建立在西法的基础上的。他并不因为批评了西历的缺点，就排斥了西历的基本优点。

他重视传统，对中历的一些概念、内容做了尽可能的保留和强调。但并不因循旧法。实际上，他在几篇文章中对中国传统历法都有中肯、严肃的批评，认为旧法没有深推历理，"法意无徵，兼之年远数盈，违天渐远"[①]，因此不可因循不变。

他在给当时一位著名的学者万斯同的信中全面地阐述了他对中西历法优劣之点的评论。其中对于两种历法的优点他是这么说的："历有法有数。法有节气、日时、置闰、分宫之类。数为周、应、损益、赢缩多寡之类。""法中之理，大统失之甚微"；"数中之理，西人所得优于大统"。王锡阐所谓的法，在此实是指有关历日安排等各方面的一些制度问题。中国历法中的一些制度已沿用400年之久，它们虽有方便不方便的问题，但从天文学上来说，却也谈不上有多大的失误，此所以王锡阐称之为"失之甚微"，而主张继续保留它们。王锡阐所谓的数，则都是有关天文学的科学内容问题。而在这些问题上王锡阐是承认西历优越的。



正是基于这种认识，所以王锡阐在工作中采纳了西历的宇宙模式和计算方法，也即以小轮体系来计算日月五星的运行、交会，而对节气、置闰、度数划分等等则仍旧采用传统方法。当然，就是对于西历所优越的历数方面，王锡阐也并不全盘照搬西法，这一点在前文也有充分的反映。总之，王锡阐是一位能批判地吸收西法的具有代表性的天文学家。

作为一个科学家，王锡阐一贯强调治历应由数推其理，改历也必须明其故。可以说，他对事物的本质有一种执著的追求，这种科学精神使他能对各种学说、方法

① 《晓庵新法自序》。



保持自己独立的思考，在对它们进行科学的分析与检验之后，最终对其批判地吸收。

当然，作为一位科学家，王锡阐也绝不是一位完人。我们前面已经多次提到，他对西法的批评有的并未击中要害，甚至是批评错了的。这里固然有时代的局限、科学水平的限制等客观原因，而勿庸讳言，王锡阐头脑中的民族主义思想的偏执发展，也是他形成错误看法的主观原因之一。例如，《历策》一文中就典型地反映了他的思想缺陷。他说："旧法之屈于西学也，非法之不若也，以甄明法意得之无其人也。今考西历所争胜者不过数端"，"孰知此数端者悉具旧法之中，而非彼所独得"，"大约古人立一法必有一理……西人窃取其意，讵能越其范围。"这一番话简直是一个典型守旧派的话语了。

诚然，清初以后因为西历取得了统治地位，西方教士汤若望又执掌了钦天监，于是不少教士和他们的信徒骄横起来。即以天文学而论，他们也对中国传统历法做了过分的攻击，既不符合科学，又损伤了中国学者的民族感情。在这种情况下，王锡阐起来批评西法，其实有许多是反批评。这些反批评无论从科学上还是从维护民族尊严上来说，有许多都是正确的、必要的。

然而，科学和感情终究不是一回事。即以上引王锡阐《历策》中的话而论，中法和西法的理论及计算模式不同，因而即便是描述同一现象，其思维探讨亦绝然不同，更完全谈不上西人窃取古法了。王锡阐的说法只能是一种偏颇之见。

尽管王锡阐对西历的批评中有相当部分是错误的，而且某种程度的狭隘民族主义情绪是不可取的，但他能在西法盛行时力求会通中西，探明理数之本，这是盲目接受西法者所不及的。也是王锡阐能在历史上有较高地位的原因。



（撰稿人：薄树人、胡铁珠）

第二节　梅文鼎家族

一、梅文鼎的生平与著述

梅文鼎（1633—1721），字定九，号勿庵，安徽宣城人。其父梅士昌于明亡后隐居读书，精通《易经》《春秋》。文鼎"少时侍父及塾师罗王宾仰观星气，辄了然于次舍运旋大意。"①

① 杭世骏：《梅文鼎传》，《道古堂文集》卷三〇。

康熙元年(1662)夏,文鼎从师倪观湖,受《台官通轨》、《大统历算交食法》,"归与(文鼐、文鼏)两弟依法推步,疑信相参,乃相与晨夕讨论,为之句栉字比,不惮往复求详。"[①]同年文鼎撰成《历学骈枝》,"以质倪师,颇为之首肯,自此遂益有学历之志。"[②]"续得家诞生先生所藏二十一史读之,始知许文正(衡)、郭若思(守敬)诸公测验之精、制器之巧,叹《授时》历法之善。"[③]由引看来,梅文鼎在接触西方天文学知识之前,已具备了传统数理天文学方面的基础,这对于他日后工作风格的形成是很有关系的。此后,文鼎曾数度到南京乡试,结识了桐城方以智的儿子方中通、方中履等人,间接地得到一些西方天文学知识。[④] 从方以智曾来函索要他所著象数之书一事来看[⑤]他当时在苏皖一带已稍有名气。

文鼎曾从南京顾昭家抄得穆尼阁(J. N. Smogolenski)《天步真原》、薛凤祚《天学会通》等书。但他对于西学,一开始是抱着戒备与怀疑态度的。他在寄给薛凤祚的一首诗中清楚地描绘了当时复杂的心理:"我欲往从之(指穆尼阁),所学殊难同。讵忍弃儒先,翻然西说攻。或欲暂学历,论交患不忠。立身天地内,谁能异初终?晚始得君书,昭昭如发蒙。曾不事耶稣,而能彼术穷。"[⑥]后来他听说穆"喜与人言历而不强人入教",而薛"初从魏玉山(文魁)主张西法,后复折节穆公受新法,尽传其术,亦未尝入耶稣会中"[⑦],于是有志问津西学。康熙十四年(1675),文鼎再度到南京乡试,访薛凤祚不遇,但自吴门姚氏购得《崇祯历书》一部分,开始系统地研读当时传入中国的西方天文学。其族侄梅庚目睹了他在客栈里苦读的情景,说文鼎"得泰西历象书盈尺,穷日夜不舍","旦日且入闱"仍不已,旁人"箧而置他所,则艴然曰:'余不卒业是书,中怦怦若有所亡,文于何有?'"[⑧]

文鼎中年主要活动于家乡和南京一带。他一面深入钻研以《授时历》为代表的传统天文历法,一面通过《崇祯历书》来了解西方天文学,并孜孜不倦地致力于二者的会通。这一时期他广交学友、创制仪器、著书立说,逐步奠定了自己的学术地位。在清初的历算家中,时人常以"南王(锡阐)北薛(凤祚)"并重,文鼎则认为"近代历学以吴江为最,识解在青州以上。"[⑨]究其原因,大概是王锡阐对西学所持批判性的



① 梅文鼎:《历学骈枝序》,《梅氏丛书辑要》卷四一。
② 梅文鼎:《勿庵历算书目·历学骈枝》。
③ 梅文鼎:《勿庵历算书目·元史历经补注》。
④ 梅文鼎:《勿庵历算书目·筹算》;方中通:《与梅定九书》,《数度衍》卷首。
⑤ 梅文鼎:《绩学堂诗抄》卷一。
⑥ 梅文鼎:《绩学堂诗抄》卷二。
⑦ 梅文鼎:《勿庵历算书目·天学会通订注》。
⑧ 梅庚:《绩学堂诗抄序》,《绩学堂诗抄》卷首。
⑨ 梅文鼎:《勿庵历算书目·王寅旭书补注》。按王锡阐江苏吴江人,薛凤祚山东益都人,益都古称青州。



肯定态度与其思想较为合拍。[①]

康熙二十八年(1689),梅文鼎应邀到北京纂修《明史·历志》,获交都中名流徐乾学、朱彝尊、徐善、阎若璩、万斯同、刘献廷等。同年被嗜喜天算的大学士李光地延致宅中,光地带头并命子钟伦、弟鼎征等一同向文鼎学习。李"自称天资极钝,向曾学筹算于潘次耕,渠性急,某不懂,今得梅先生和缓善诱方得明白。"[②]他又感叹没有快论发古今历法大意,建议文鼎"宜略仿元赵友钦《革象新书》体例,作为简要之书,俾人人得其门户。"[③]文鼎受命,康熙二十九年(1690)夏动笔,数月得稿五十余篇,以问答形式广泛地讨论了古今中外的天文历法问题;康熙三十二年(1693)四月,李光地为之作序;三十八年(1699),又由他出资刊刻于河北大名,书名为《历学疑问》。[④] 文鼎在李光地作序的那年离京南归,《历学疑问》是他客居京师期间最重要的一件工作,也可以说是他在天文历法方面的代表作。

康熙四十一年(1702)十月,康熙南巡途中驻跸德州。当时李光地任直隶巡抚,以《历学疑问》三卷进呈。康熙说:"朕留心历算多年,此事朕能决其是非,将书浏览再发。"次日召见光地说:"昨所呈书甚细心,且议论亦公平,此人用力深矣。朕带回宫中仔细看阅。"[⑤]康熙四十四年闰四月二十日至二十四日(1705年6月11日至15日),康熙在南巡归途数次召见文鼎于御舟之中,自德州南的临清至天津北的杨村,一路讨论天文历法。临辞康熙置礼相赐,并特书"绩学参微"四字以示褒奖,从此文鼎声名益著。[⑥]

晚年他归居故里,埋头著作与授徒。秀水张雍敬"裹粮走千里,往见梅文鼎,假馆授餐逾年,相辩论者数百条,去疑就同,归于不疑之地……著《宣城游学记》。"[⑦]江夏刘湘煃"闻梅文鼎以历算名当世,鬻产走千里,受业其门。"[⑧]匡山隐者毛乾乾偕婿谢廷逸"惠访山居,共论周径之理,因而反复推论方圆相容相变诸率。"[⑨]

梅文鼎于康熙六十年(1721)辞世,享年88岁。[⑩]



---

① 日人桥本敬造对梅文鼎与其前代学者的关系有中肯意见,见其《梅文鼎的历算学》,《东方学报》第41期,1973年2月。

② 李光地:《榕村语录续集》卷一六。

③ 梅文鼎:《历学疑问序》。

④ 李光地:《梅氏丛书辑要》卷四六。

⑤ 李光地:《历学疑问恭记》,《梅氏丛书辑要》卷四六。

⑥ 李光地:《梅定九恩遇诗引》,《榕村全集》卷一三;互见《绩学堂诗抄》卷四。

⑦ 阮元:《畴人传》卷四〇。

⑧ 阮元:《畴人传》卷四〇。

⑨ 梅文鼎:《方圆幂积说》,《梅氏丛书辑要》卷二四。

⑩ 钱宝琮:《梅勿庵先生年谱》,《国立浙江大学季刊》1卷1期,1932年1月,11~44页;商鸿逵:《梅定九年谱》,《中法大学月刊》2卷1期,1932年10月,19~42页;李俨:《梅文鼎年谱》,《清华学报》2卷2期,1925年,互见《中算史论丛》第三集,科学出版社,1955年,544~576页。

文鼎生平著撰甚富。《勿庵历算书目》共列名目八十八,内中属于天文历法的有六十二种:其中仅有数种单独付梓,一部分失传,一部分被后人汇入丛书之中,篇次名目均有变动。文鼎生前即有刊刻历算全书的计划[①],康熙五十七年(1718),由魏荔彤输资实行,文鼎曾亲自参与校订工作,但是未曾卒业就离去;后来又经杨学山等人修订,终于雍正元年(1723)正式出版,是为兼济堂版《勿庵历算全书》。[②] 全书共二十九种七十四卷,其中涉及天文历法的十八种三十六卷。即:

①《弧三角举要》五卷;

②《环中黍尺》六卷;

③《堑堵测量》二卷;

④《历学疑问》三卷;

⑤《历学疑问补》二卷;

⑥《交食管见》一卷;

⑦《交食蒙求》三卷;

⑧《揆日候星纪要》一卷;

⑨《岁周地度合考》一卷;

⑩《冬至考》一卷;

⑪《诸方日轨高度表》一卷。

⑫《五星纪要》一卷;

⑬《火星本法》一卷;

⑭《七政细草补注》一卷;

⑮《二铭补注》一卷;



⑯《历学骈枝》四卷;

⑰《平立定三差解》一卷;

⑱《历学答问》一卷。

乾隆二十六年(1761),文鼎孙珏成以兼济堂刻本校订编次不善,另为整理《梅氏丛书辑要》,以承学堂名义发行。《梅氏丛书辑要》共收书二十三种六十一卷,其中涉及天文历法的有十三种三十三卷[③]。与魏氏兼济堂《勿庵历算全书》相比,其①、③、④、⑤、⑱仍旧;②由六卷改为五卷;⑥、⑦合为《交食》一种四卷;⑧、⑪合为《揆日纪要》一卷;⑨、⑩所论因已散见于他处,不复单独成篇;⑫改名为《五星管

---

① 施彦格:《徵刻历算全书启》(1699),《勿庵历算书目》。

② 魏荔彤:《梅勿庵先生历算全书序》;互见《勿庵历算全书》卷首,"凡例"。

③ 《梅氏丛书辑要》总目为六十二卷,其卷六一、六二为梅玉成所作,而卷五六又分为上、下两分卷,故实收文鼎著作六十一卷。



见》；⑬、⑭合为《七政》二卷；⑮归入《褉著》；⑰并入⑯，成《历学骈枝》五卷；又有《恒星纪要》一卷、《褉集》一卷，乃兼济堂刊本所无。[①]

二、梅文鼎的科学生涯

梅文鼎的科学生涯从研习授时、大统两家历法开始，其后精读历代天文律历志，又钻研以《崇祯历书》为代表的西方天文学体系，对中法、西法都有相当深刻的了解和认识。清初历局一度曾由西方教士主持，中国传统天文学被一些人说得一无是处。而怀着盲目的民族情绪的官僚和文人，则与西学势不两立。在这种情况下，梅文鼎不遗余力地搜集整理散佚在民间的天文学资料，表彰宣扬传统天文学中的精华，又认真钻研和阐释西方天文学的方法原理，积极致力于中西天文学的会通，对于传统天文学研究的开展和中西天文学的交融起到了重要作用。以下分七个方面评述他的天文学工作。

1. 辨明大统、授时同异

元代授时历仅存李谦的《授时历议》以及郭守敬和许衡、王恂等人共署名的《授时历经》，论述又过于简略。明代大统历基本袭用授时历的理论和数据，其作者元统撰有《大统历通轨》四卷。梅文鼎早年从倪观湖所受《台官通轨》、《大统历算交食法》以及下文将提到的《日月五星通轨》，大概都是由元统的著作衍出。

文鼎于康熙十八年(1679)致书《明史》纂修官施闰章，“大意言明用大统实即授时，宜于《元史》阙载之事详之，以补其未备。”[②]可见此时他已萌生了利用纂修《明史》的机会，对《元史》进行亡羊补牢的计划。及“至京师，纂修《明史》诸公以《历志》属详定。……先生曰：说者知尊郭太史授时而随声诋大统，不知大统即授时也。……乃出《历草》及《日月五星通轨》详为诠次，以发明王恂、郭守敬不传之秘，《授时》、《大统》始为完书，史局服其精核。”[③]这说明清初一般学人对大统、授时之间的关系并不十分清楚，梅文鼎是较早研究这两部历法同异并得出正确结论的学者。



他在尚未接触到钦天监和历局掌握的材料之前，根据民间流传的有关大统历的抄本，对比《元史·授时历经》写成《历学骈枝》。他指出大统、授时在“法原、立成、推步”等方面一脉相承；至于历元，大统虚用洪武甲子(1384)，不过易其名不易其实，推算仍用授时的至元辛巳(1281)；他推崇授时使用杨忠辅的“岁实消长法”，认为大统弃而不用是一退步；他校正了许多数据，提出了一些合理的看法：例如《授

---

① 《梅氏丛书辑要》卷首，“凡例”。

② 梅文鼎：《勿庵历算书目·历志赘言》。

③ 毛际可：《梅先生传》，《勿庵历算书目》。

时历经》所载“闰应、转应、交应”三数及“月行迟疾立成”均与大统不合，他认为系由王恂所撰，王死后郭守敬等又经测验数据改定，而《授时历经》已存入内府之故，所以入算应以后者为准；由大统的“日数开方数”与授时不同，他猜测元统等人也“有测于天”。总之，梅文鼎的研究开创了清代学人通过大统来解读授时的途径。

2.纂修《明史·历志》

《明史》的纂修，经清代顺、康、雍、乾四朝，历时近百年(1645—1739)，文稿多经数人之手，其中《历志》部分在康熙朝已粗成。有证据表明，梅文鼎是《明史·历志》的主要作者。

文鼎还有一段话透露了他在纂修《明史·历志》中的作用，其《勿庵历算书目·历志赘言》云：“康熙戊午年，愚山侍讲欲偕余入都，不果行。次年己未，愚山奉命纂修《明史》，寄书相讯，欲余为《历志》属稿……因作此寄之……盖《历志》大纲略尽于此。一二年后担簦入都，承史局诸公以《历志》见商，始见汤潜庵先生所裁定吴志伊之稿，大意多与鼎同，然不知其曾见余所寄愚山《赘言》与否？亦承潜庵公屡次寄讯相招，而未及搴裳，比入都则作古久矣。”

据此，可把事情的本末大致勾勒出来：康熙于1679年召试50鸿博修史，汤斌曾任总裁并兼管《历志》等部分内容。文鼎的同乡长辈施闰章号愚山，亦在50鸿博之列，初想带文鼎一同进京修史，因故未能成行。后来施向梅函询《历志》的纲要，梅即写了《历志赘言》，大意是论述自古至明的历法沿革情况。其间汤斌也屡招梅来京工作，而《历志》稿先后经吴、徐、刘、杨等人，最后到了黄宗羲(梨洲)之手。黄宗羲初以反清复明为己任，此时清廷江山已定，他以名世大儒的身份关心亡明历法的整理是可能的，但是不会倾注过多的热情。现在的问题是：黄宗羲死后留下的《历志》稿是什么样的？如果已具相当规模，那么讨论文鼎在修《历志》中的作用就没有太大的意义了。据前引“乃知鼎前所摘商者即黄稿也”、“始见汤潜庵先生所裁定吴之伊之稿，大意多与鼎同”等文字来看，黄稿内容不出《历志赘言》之外。以汤斌名义刊刻的《明史分纂稿·历志》，以及中国科学院图书馆收藏的黄百家《明史·历志》抄本都仅有相当于历法沿革的这部分内容。由此可见文鼎到京前《历志》的主要部分尚未撰写；所谓吴稿、黄稿、汤稿都是在他给施闰章的《历志赘言》的基础上写成的历法沿革的草稿。文鼎到京时，汤、施都已故世，主管史局的徐乾学(江苏昆山人)向他出示这一部分稿本，文鼎又对其中的错误做了订正。后来黄百家代表史局请他就大统历法的“立成、推步”等部分发表意见，他即以《授时历草》、《大统历通轨》等书为依据，用两个月的时间完成了《明史历志拟稿》三卷。从《勿庵历算书目》所列条目来看，该《拟稿》包括“法原之目凡七：曰勾股测望、曰弧矢割圆、曰黄赤道差、曰黄赤道内外度、曰白道交周、曰日月五星平立定三差、曰里差刻漏；立成之





目凡四：曰太阳盈缩、曰太阴迟疾、曰昼夜刻、曰五星盈缩；推步之目凡六：曰气朔、曰日躔、曰月离、曰中星、曰交食、曰五星”[①]，与定稿《明史·历志》的核心内容“大统历法”（历二至历六）的顺序及名称几乎相同。[②]

定稿《明史·历志》包括三大部分：一为“历法沿革”、二为“大统历法”、三为“回回历法”。《历志赘言》和《明史历志拟稿》分别为前两部分的胚型。当年与文鼎交游的陆陇其曾记道：“万季野（斯同）言《明史·历志》，吴志伊纂修者，今付梅定九（文鼎）重修。”[③]万斯同乃《明史》的实际统稿人，所言当为可信。梅珏成也说：“《历志》半系先祖之稿。”[④]大约也是指这两部分而言。至于第三部分“回回历法”，其底本为明洪武十五年（1382）李翀、吴伯宗所译，文鼎曾作《回回历补注》三卷[⑤]，定稿时大概参考过他的意见。[⑥]

3. 阐明《授时历》的数理

（1）黄赤相求之理。《授时历》中“黄赤道差”和“黄赤道内外度”二法，由传统的弧矢割圆术和天元术出发，得到与球面三角学中纳皮尔公式相当的解法。[⑦] 梅文鼎是第一个认识到这两者一致性的学者。他在1700年前后陆续写了三部著作，从不同的角度接触到黄赤换算问题。

《弧三角举要》由球面几何的性质开始，利用勾股比例证得纳皮尔诸式，再经“垂弧”、“次形”（相当于对称三角形和极三角形）二法，得到一般球面三角形的解法，把中国学者在《授时历》中萌芽的球面三角工作推进了一大步，成为一部相当严谨的球面三角教科书。《环中黍尺》是他利用平行正投影原理来解球面三角形的一件工作。[⑧] 在西方虽然早有类似的“阿那勒马”（Analemma）方法，但是他的工作系独立进行的，而且具有一定的创见。其卷二名为“三极通机”的内容，就专门研讨包括黄赤换算在内的一系列实用天文测量问题。[⑨]《堑堵测量》则借用传统数学的语汇，把黄经 AB、赤经 AC 和赤纬 BC 三弧组成的球面三角形置于一个虚构的多面



① 梅文鼎：《勿庵历算书目·明史历志拟稿》。

② 定稿《明史》仅比文鼎《拟稿》多出“步四余”一目。

③ 陆陇其：《三鱼堂日记》，康熙辛未三月十三日（1691年4月11日）。

④ 梅珏成：《操缦卮言·明史馆呈总裁》，《梅氏丛书辑要》卷六二。

⑤ 参见《勿庵历算书目》。

⑥ 刘钝：《郭守敬的〈授时历草〉和天球投影二视图》中有一节专论梅文鼎和《明史·历志》的关系，见《自然科学史研究》1982年，1卷4期，327～332页。

⑦ 李俨：《中国数学大纲》上册，科学出版社，1958年，242～251页；钱宝琮：《中国数学史》，科学出版社，1964年，210～214页。

⑧ 沈康身：《球面三角形的梅文鼎图解法》，《数学通报》，1965年5月，47～52页。

⑨ “赤道以北辰为极，而黄道亦有黄极，人所居又以天顶为极”，是为“三极”；研究赤道、黄道、地平三种坐标系统的转换问题，是为“三极通机”。

体中(图 8—7 中楔形 $OAGFEH$,古称堑堵),再利用该多面体各表面上的比例关系得出相应的黄赤换算公式(图 8—8)。书中还援引了郭守敬佚书《授时历草》的材料,介绍"郭太史本法"和"弧矢、侧视、平视"三图,结论是:"郭太守弧矢、平、立三图中具此四法(指纳皮尔公式),即弧三角之理无不可通,言简而意尽,包举无穷。"[①]

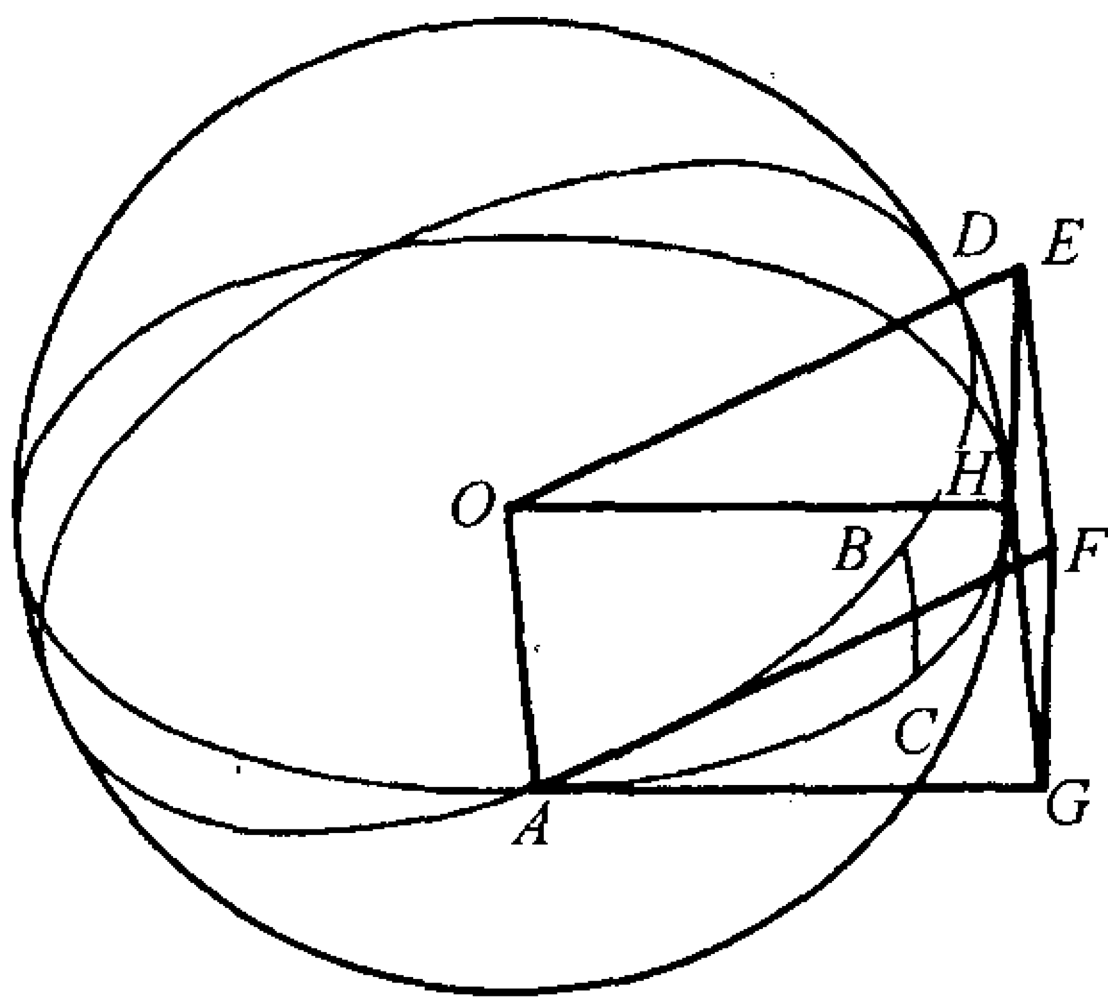


图 8—7 黄赤道换算(一)

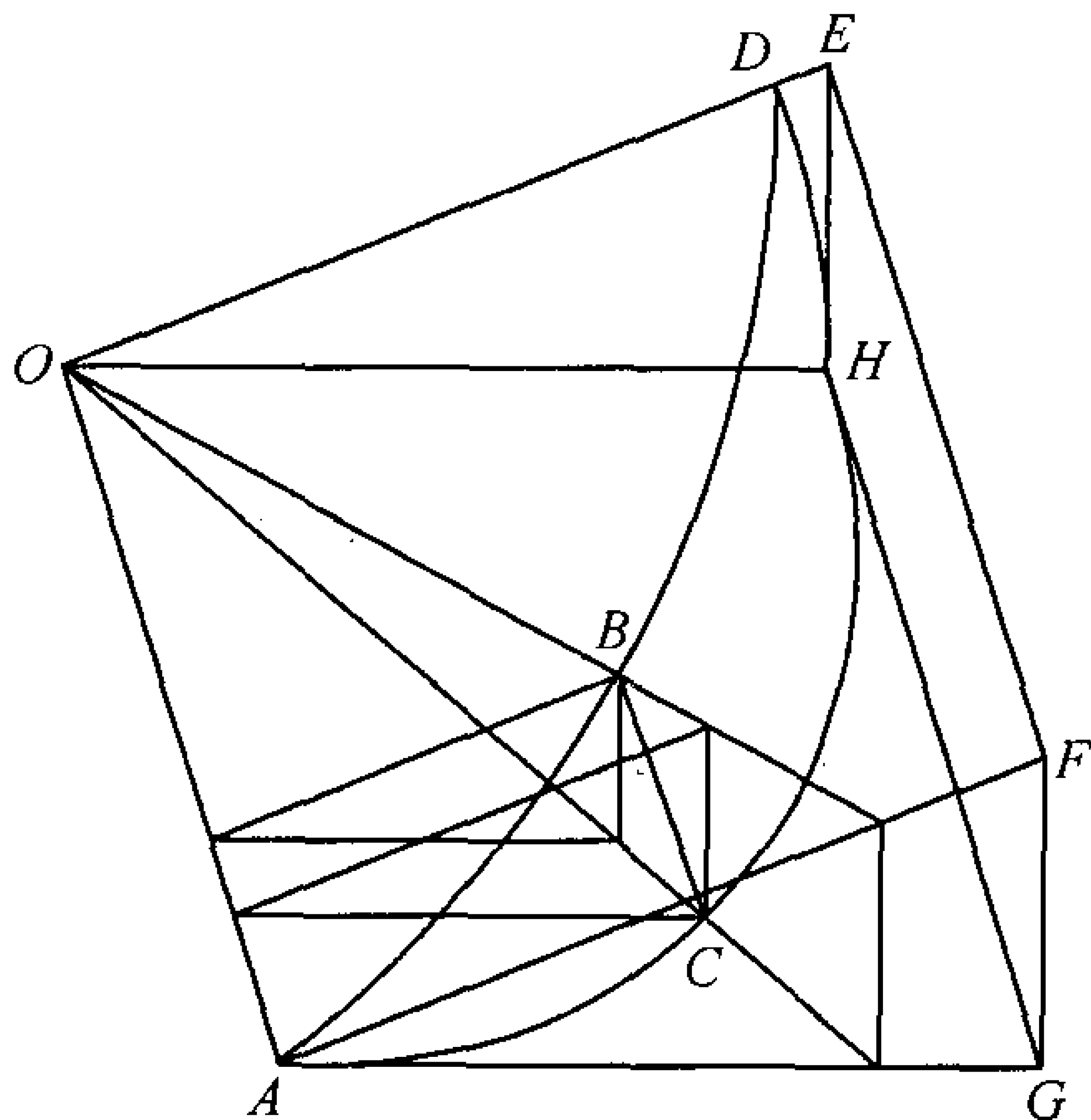


图 8—8 黄赤道换算(二)

(2)平立定三差之理。《授时历》的另一项显著成绩就是利用三次差内插法计算天体的位置,但《元史·授时历经》对此仅用数语轻轻带过,致使后人长时间内难以通晓其"求盈缩差法"的本意。

1704 年,文鼎作《平立定三差详说》,详细论述三差之原:"太阳行天,有盈有缩……但此盈缩之差,绝非平派,或自多而渐少,或自少而渐多,何以能得其每日参差之数?郭太史立为平立定三差法,以齐其不齐,可得每日细差及积差,其理则出于垛积招差之法也。"[②]《明史·历志》内"盈缩招差图说",几乎全文录自文鼎著作,并附了一个说明:"宣城梅文鼎为之图解,于平差、立差之理,垛积之法,皆有以发明其所以然。有专书行于世,不能备录,谨录'招差图说',以说明立法之大意云。"[③]这一说明除了为文鼎是《明史·历志》的主要纂修者提供一个新的证据外,也证实清代对于三次差内插法的再发现以及认识到它与垛积术的关系,确应归功于梅文鼎。[④]

(3)食限辰刻之理。以食分大小为参数,可以求出日食三限和月食五限的辰

① 梅文鼎:《堑堵测量》,《梅氏丛书辑要》卷四〇。

② 梅文鼎:《平立定三差详说》,即《历学骈枝》五,《梅氏丛书辑要》卷四五。

③ 《明史》,中华书局标点本,591 页。

④ 李俨:《中算家的内插法研究》,科学出版社,1957 年。



刻,金《大明历》首创用几何方法推算,《授时历》因之。[①] 但是对于这一创造性的计算方法,流传下来的仅有简单的术文,不借助图示很难理解。梅文鼎在《历学骈枝》中首次给出"日食"、"月食三限"、"月食五限"等图,并用传统数学中的勾股和较术证明了这一方法。

兹以求日食食甚辰刻为例。图 8—9 中日、月视直径皆为 10 分,S 为日心,M_1、M、M_2 分别为初亏、食甚、复圆时的月心,CD 为日食分秒,M_1M 为初亏到食甚的时间。在勾股形 SMM_1 中,利用股^2 =(勾弦和)×(勾弦较),即有 $M_1M^2=(SM_1+SM)\times(SM_1-SM)=AM\times BM=(AB-CD)\times CD$。这就是《元史·授时历经》中"置日食分秒与二十分相减相乘,平方开之"的道理。[②]

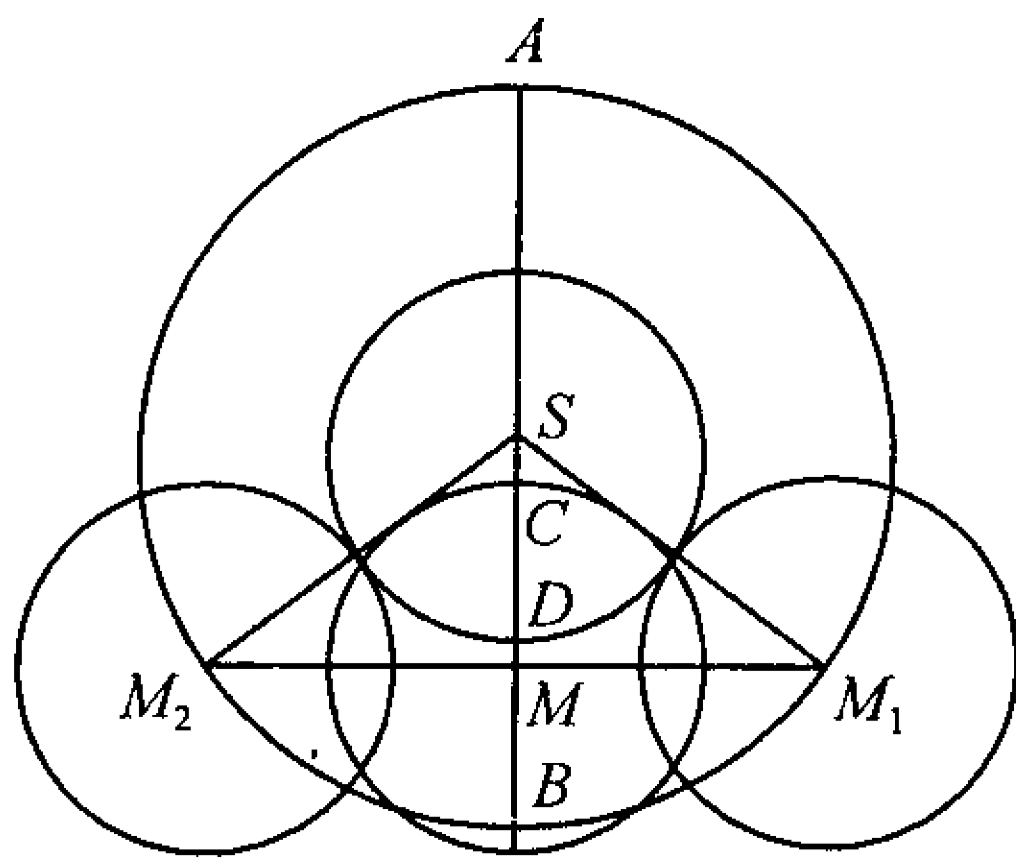


图 8—9 日食食甚辰刻示意图

4. 对古今中外历法的综合考察

梅文鼎生前曾有一个庞大的计划,即仿照邢云路《古今律历考》的形式写一部对各代和传入中国的各国历法进行综合性考察的巨著。他认为"邢氏书但知有授时,而姑援经史以张其说,古历之源流得失未能明也,无论西术矣。"[③]因而他无论古术西术,"兼采旁蒐,详探浅说",在 20 年左右的时间内陆续写成 50 余篇,定名为《古今历法通考》[④],可惜后来未能出版。但是有证据表明,这部文稿中的许多内容和观点,都被撷入后来写成的《历学疑问》一书之中了。魏禧、王源二人为《古今历法通考》写的序,都被收入《历学疑问》之中,文鼎为《历学疑问》写的自序还提到:"余向纂《古今历法通考》,因时时增改,讫无定本。"从篇目来看,《历学疑问》中的"论历学古疏今密"、"论夏时为尧舜之道"、"论盖天周髀"、"论历元"、"论日法"、"论岁实闰余"、"论岁余消长"、"论中西之异"、"论中西二法之同"等等,显然都属于"通



① 严敦杰:《宋金元历法中的数学知识》,《宋元数学史论文集》,科学出版社,1966 年,220~221 页。

② 《元史》,中华书局标点本,1240 页。

③ 梅文鼎:《勿庵历算书目·古今历法通考》。

④ 魏禧:《古今历法通考序》,在《历学疑问》内,《梅氏丛书辑要》卷四六。

考”的性质。

梅文鼎不仅认识到大统历与授时历的亲缘关系，还进一步指出授时历与古代各家历法的渊源，说明“历学古疏今密”的道理。他说：“授时历集古法之大成，自改政七事、创法五端外，大率多因古术。故不读耶律文正之庚午元历，不知授时之五星；不读统天历，不知授时之岁实消长；不考王朴之钦天历，不知斜升正降之理；不考宣明历，不知气刻时三差；非一行之大衍历，无以知岁自为岁、天自为天；非淳风之麟德历，不能用定朔；非何承天、祖冲之、刘焯诸历，无以知岁差；非张子信无以知交道表里、日行盈缩；非姜岌不知以月蚀检日躔；非刘洪之乾象历，不知月行迟疾；然非洛（落）下闳、射姓等肇启其端，虽有善悟之人，无自而生其智矣。闲尝于古历七十余家，详为参校，窃睹古人之用心勤也。”①

关于西历源流，梅文鼎有一个很独特的见解，他主观地把所谓西历分为两派九家；前五家为《九执》一，《万年》二，回回历三，陈壤和袁黄四，唐顺之和周述学五，都归于回历一派；后四家为利玛窦（M. Ricci）、汤若望（V. Bell）和南怀仁（F. Verbiest）为一，穆尼阁和薛凤祚二，王锡阐三，揭宣和方中通四，都归于欧罗巴历一派。② 把印度、阿拉伯、欧洲的历法以及中国学者的见解混为一谈，表明他对中华以外的文化、历史缺乏了解，却也透露了他企图按照具体的内容而不是按地域来考察历法的思想。

他对大统、授时以外的其他历法，也有较详细的考订。在《庚午元历考》中，他指出元太祖西征与推上元庚午是两件事，以澄清《元史》中“西征庚午元历”名称上的混乱。③ 他还顺便批驳了《崇祯历书》说授时历受阿拉伯天文学影响的观点。

他的另一书稿《回回历补注》则专论回历，认为“回历即西法之旧率，泰西本回历而加精焉耳。故惟深知回历而后知泰西之学有根源，亦惟深知回历而后知授时之未尝阴用其法也。”④在后文中我们将看到，回历是梅文鼎“西学东源”理论中的一个关键问题。



他又有《春秋以来冬至考》，将李谦在《授时历议》中按大衍、宣明、纪元、统天、大明、授时六历推算的 49 个冬至日复核一遍，得出统天、授时所用岁实消长法均与历代观测数据相合的结论，批评李谦欲尊授时而抑统天的做法。⑤

---

① 梅文鼎：《勿庵历算书目·古今历法通考》。

② 梅文鼎：《勿庵历算书目·古今历法通考》。

③ 梅文鼎：《勿庵历算书目·庚午元历考》；互见《元史》，中华书局标点本，第 1119，1150～1151 页。

④ 梅文鼎：《勿庵历算书目·回回历补注》。

⑤ 《元史》，中华书局标点本，1131～1142 页。



5. **行星运动理论**[①]

《崇祯历书》介绍了托勒密(Ptolemy)和第谷(Tycho Brahe)的宇宙模型,宣布后者为正确。《崇祯历书》中对行星运动的推算和说明颇多矛盾不一之处,在梅文鼎研究西法之前,王锡阐曾试图将行星运动理论进行改造,使其自洽和划一[②]。梅文鼎知道王的工作,但他创立了另一套理论来达到同样的目的。该理论的本质在于调和第谷和托勒密的宇宙体系,其要有三点:

①"七政异天":"而今谓七政各有一天,何据?曰:屈子《天问》:'圜则九重,孰营度之?'则古有其语矣。"

②七政本天皆为"硬圈有形质"的实体。

③七政本天以地为心[③]。

文鼎断言这是宇宙的真实情况。除了第二点外,其他与托勒密体系一致。为了与"钦定"的第谷体系调和,他提出"围日圆蒙"之说,以托勒密体系为实,以第谷体系为"虚象"。下面这段话说得更明确:

> *若以岁轮上星行之度联之,亦成圆象,而以太阳为心。西洋新说谓五星皆以日为心,盖以此耳。然此围日圆象是岁轮周行度所成,而岁轮之心又行于本天之周,本天原以地为心,三者相待而成,原非西法,故曰无不同也。……或者不察,遂谓五星之天真以日为心,失其指矣。*[④]

文鼎初仅用"围日圆象"说于火、土、木三颗地外行星,即所谓上三星。后来其门生刘湘煃发挥其说,对金、水二地内行星也做同样处理[⑤],遂使行星运动理论模型整齐划一的目标宣告实现。

就理论体系的自洽和划一而言,文鼎的模型颇为巧妙,他自己也以为是探得了第谷的"本法",视为较得意的工作之一。由于第谷体系仍维持地心格局,使文鼎有调和的余地。但此说虽巧,却非第谷本意,而且比第谷体系离开客观真实更远。

祖述文鼎"围日圆象"说的人很多,如江永、戴震、焦循、盛百二、李明彻等。但当时也有人表示怀疑,杨作枚就指出,据此理论算得的数据"皆与《历书》数迥异,验之于天,未识合否……勿庵之说,不敢遽定其是非。"[⑥]

6. **星表与仪器**

梅文鼎十分留意各种星表星图。据称他曾亲见元代赵友钦制作的一幅星图,



---

① 本小节由江晓原执笔。

② 参阅王锡阐《晓庵遗书》《晓庵新法》《五星行度解》等书。

③ 梅文鼎:《历学疑问》《五星纪要》等,见《勿庵历算全书》。

④ 梅文鼎:《五星纪要》,见《勿庵历算全书》。

⑤ 桥本敬造对此论说颇详,见其《梅文鼎の历算学》,《東方學報》41 期,1973 年 2 月。

⑥ 杨作枚的评论附于《五星纪要》后,见《勿庵历算全书》。

在为其弟文鼎《中西经星同异考》写的序中说："余尝见元赵缘督友钦石刻图，阁道六星在河中作磬折层阶之象……"他以此说明星座的划分是一种人为的结果。

早在康熙五年(1666)，他就在南京收得一旧刻本，内有普天星宿入宿去极度分，但缺 2 宿；33 年后在福建借得一抄本始得补全。根据内中度下百分的特点，文鼎考定为授时历之后的作品，甚至怀疑就是《元史·郭守敬传》中提到的《二十八舍䄠坐去宿去极度分》的翻版。据此他写成了《古历列星距度考》。①

他又于回族友人马儒骥处得明刻西域天文书四卷，内中"有䄠星三十之占，然未译中土星名。"他于是"以岁差度考之，得其二十余。"据研究，此一星表系波斯人阔识牙尔(Kushyar ibn Labban)在托勒密星表的基础上制作的。② 梅文鼎的考证与袁士龙、薛凤祚等人的意见不谋而合。③

在《恒星纪要》一书中，梅文鼎共列出 4 份星表：首先是"诸名星赤道经纬度加减表"；其后是注明为壬子年度的"二十八宿距星黄赤道经纬度表"，当系来自南怀仁《灵台仪象志》(1672)；最后一表名"康熙戊辰年(1688)各宿距星所入各宫度分"，黄经数较前表各增 14′～15′，当系文鼎按每年岁差 51″的规律从《灵台仪象志》中推算出来的。书中又比较中西星名，介绍南天星象，并统计《历法西传》《新法历引》《天经或问》《恒星历指》《赤道南北两总星图》《天学会通》以及各代天文志中所记星数。④ 这些工作对于普及和推广天文学知识都是十分有益的。

梅文鼎对"测算之图与器，一见即得要领……西洋简平、浑盖、比例规尺诸仪器书不尽言，以意推广之，皆中规矩。又自制月道仪、揆日测高诸器，皆自出新意。"⑤他根据简仪和仰仪的铭辞考证其制度，撰成《仪铭补注》⑥。他又作《测器考》《自鸣钟说》《浑盖通宪图说订补》《壶漏考》《日晷备考》《赤道提晷说》等文章，对各种天文仪器的源流、制度和原理进行考证。



在当时传入中国的西方天文仪器中，他最感兴趣的就是简平仪和浑盖通宪仪。"简平与浑盖，臆制亦能工"⑦，这两件仪器分别以平行正投影和中心投影为基础，因而梅文鼎能够通过它们掌握投影原理，并写出《环中黍尺》这样新颖独特的数学著作来；另一方面，数学上的造诣又使他能够熟练地运用投影原理，设计和改良各种天文仪器。梅文鼎曾制作璇玑尺、揆日器、侧望仪、仰观仪、月道仪和浑盖新式等

---

① 梅文鼎：《勿庵历算书目·古今列星距度考》。

② 中国天文学史整理研究小组：《中国天文学史》，科学出版社，1981 年，54 页。

③ 梅文鼎：《勿庵历算书目·三十䄠星考》；互见梅文鼎：《䄠著》，《梅氏丛书辑要》卷六〇。

④ 梅文鼎：《恒星纪要》，《梅氏丛书辑要》卷五八。

⑤ 毛际可：《梅先生传》，《勿庵历算书目》内。

⑥ 梅文鼎：《䄠著》，《梅氏丛书辑要》卷六〇。

⑦ 梅文鼎：《寄怀青州薛仪甫先生》，四首之二，《绩学堂诗抄》卷二。



等，可惜都没有传下来，但从《勿庵历算书目》提示的线索来看，它们大多与简平或浑盖有关。[①]

在继承天文学的禀赋上，梅文鼎家族堪与著名的赫歇耳（Herschel）家族相媲美：除了文鼎以“国朝算学第一”[②]名世外，其弟文鼐、文鼏，子以燕，孙瑴成、玕成，曾孙钫、钛、鈖、鏐、鋴，也都喜好天文历法，其中文鼏、瑴成最为知名。

梅文鼏，字尔素，乃文鼎季弟。生于明末崇祯十四年（1641）卒年不详。他虽然比文鼎年幼8岁，却与兄长同时开始天文学的学习，成年后主要以教书为业。文鼏长于计算，有累年算稿存放于文鼎处，合为《授时步交食式》一卷。康熙二十七年（1688），文鼏受文鼎之命作“恒星黄、赤二图”，发现《西洋新法历书》与《灵台仪象志》所载星名、星数互有得失，于是依隋丹元子《步天歌》的次第，罗列出三垣二十八宿星名，并注明各方记载的星数。又将《步天歌》作“古歌”、《经天该》作“西歌”分别录于书后。最后又介绍《步天歌》中所阙之南天星座，文鼏自作“补歌”附入。这就是《中西经星同异考》一书，在清代有一定的影响。《四库全书提要》称：“文鼏此编独详稽异同，参考互证，使名实不病于参差，是亦中西两法互相贯通之要领也。”[③]

梅瑴成，字玉汝，号循斋，康熙二十年四月二日（1681年5月19日）生于宣城。他自幼丧父，随祖父“南北东西，未离函丈，稍能窃取绪余。”[④]《勿庵历算书目》撰成于康熙四十一年（1702），其卷首已题“孙瑴成玉汝校正”，可见他很早就成了祖父的得力助手。

在文鼎的著作中可以发现大量瑴成工作的痕迹。《平立定三差详说》明确提到“爰命孙瑴成衍为垜积之图”[⑤]，时在康熙四十三年（1704），瑴成23岁。《揆日纪要》一书有“诸方各节气加时太阳距地平高度表”，乃“依弧三角推算，自北极高二十度至四十二度，逐节求其太阳距地高度以立表，为揆日之用，余孙瑴成所步也。”[⑥]《勿庵历算书目·日差原理》称：“余向疑日差既有二根，宜列二表……而孙瑴成窃窃然疑之……余因其说而复思焉，然后知交食章表之非缺。而不须二表也。”接着文鼎又说：“至理人人可知，而执成见者昧之。童乌九岁能与太玄，于兹信益。”对瑴成的赞美溢于言表。

1712年，康熙开蒙养斋“定步算诸书以惠天下”，梅瑴成应召到京，先后充蒙养



① 参阅《勿庵历算书目》内“勿庵揆日器”、“璇玑尺解”、“勿庵侧望仪式”、“勿庵仰观仪式”、“勿庵浑盖新式”、“勿庵月道仪式”诸条。

② 阮元：《畴人传》卷三八引钱大昕语。

③ 梅文鼎：《中西经星同异考》，商务印书馆，1960年补印本。

④ 梅瑴成：《增删算法统宗》，“自识”。

⑤ 梅文鼎：《平立定三差详说》，《梅氏丛书辑要》卷四五。

⑥ 梅文鼎：《揆日纪要》，《梅氏丛书辑要》卷五七。

斋汇编、《律历渊源》总裁。他会同陈厚耀、何国琮、明安图等人，于 1722 年完成《律历渊源》百卷，内中关于天文学的《历象考成》有四十三卷。至 1742 年，又续成《历象考成后编》，梅珏成都是主要编辑人。由于参加这两部大型天文学著作撰写工作的还有其他一些学者，因此很难指出哪一项工作是珏成所为。

相对于《崇祯历书》和《西洋新法历书》，《历象考成》描画出了更清晰的欧洲古典天文学体系，修正了一些数据，纠正了若干错误；《历象考成后编》则增补了关于视差、蒙气差的理论，抛弃了虚构的小轮体系，改用地心系统的行星椭圆运动律定等[①]，这些都是具有进步意义的成果。至于《历象考成》中采用划分月面的方法来计算月食方位，很明显是采纳了王锡阐、梅文鼎一脉相承的意见。[②] 这无疑与梅珏成的作用有关。

梅珏成又参与《明史·历志》的定稿和清代《时宪志》的编写，他在《操缦卮言》中收录了有关这两项工作的书信和言论，其中有许多精辟的见解。他反对“天人感应”的迷信和不切实际的记载，说：“月化恒星为天行之常，无关休咎，不应登载”，“五星犯门入月为必无之事，拟削之”，“老人星江以南三时尽见，《天官书》言‘老人星见，治安’，乃无稽之谈。”他主张在《历志》中用图解来阐明立法原理，赞扬“本朝纂修《明史》诸公，谓其义非图不明……遂采诸《历草》而入于《志》，其识见实超凡俗。”他对耶稣会士纪理安下令毁掉存放在北京观象台的元明两代天文仪器十分愤慨，说：“西人欲藉技术以行其教，故将尽灭古法，使后世无所考，彼亦得以居奇。”[③]

珏成历任翰林院编修、顺天府丞、鸿胪寺卿、通政使司右通政、都察院左都御史，深得康熙皇帝的信任与钟爱。晚年他回到宣城居住，编辑整理祖父和自己的著作。“丁丑(1757 年)夏至，山林多暇，因取其书(指程大位《直指算法统宗》)重加校勘，删其繁芜，补其缺遗，正其讹谬，增其注解”[④]，这就是《增删算法统宗》。他自己的其他一些文稿则分别汇入《赤水遗珍》和《操缦卮言》，作为《梅氏丛书辑要》的最后两卷出版。



乾隆二十七年十月五日(1763 年 11 月 20 日)，梅珏成去世，时年 82 岁。[⑤]

梅氏家族兴盛于一个承前启后的时代：新旧交锋，中西交融，其代表人物的思想和工作必然要打上时代的烙印，对后世也必然会产生深远的影响。梅文鼎和他的族人以及弟子们，数十年如一日，锲而不舍地钻研天文学。“其论算之文务在显明，不辞

① 中国天文学史整理研究小组：《中国天文学史》，科学出版社，1981 年，232 页。

② 梅文鼎：《交食管见》，《梅氏丛书辑要》卷五三；互见王锡阐：《晓庵新法》。

③ 梅珏成：《操缦卮言》内“明史馆呈总裁”、“国史馆呈副总裁”、“时宪志用图论”、“仪象论”等条，《梅氏丛书辑要》卷六二。

④ 梅珏成：《增删算法统宗自叙》。

⑤ 严敦杰：《清代数学家梅珏成在数学史上的贡献》，《安徽史学通讯》总 11 号，1959 年 3 期。



劳拙，往往以平易之语解极难之法，浅近之言达至深之理，使读其书者不待详求而义可晓然。诚以绝业难传，冀欲与斯世共明之，故不惮反复再三，以导学者先路，此其用心之善也。"[①]在梅文鼎生前，就已形成了一个以他为中心、以研究数理天文学为主要目标的学派，方中通、李子金、李光地、年希尧、杜知耕、揭宣、陈乃策、陈厚耀、孔兴泰、杨作枚、刘湘煃、张雍敬、黄百家这些学者都曾问师于梅文鼎。皖派汉学前驱江永对其著作深为叹服，著书名《翼梅》。江永的高足戴震继承皖派重视天文数理的传统，在乾嘉学派整理传统天文学遗产的活动中起到推波助澜的作用。正因为如此，梅文鼎在清代天文学史上占有特殊的重要地位。以《崇祯历书》为代表的西方天文学体系在中国的普及与传播，也与梅文鼎及其子弟们的工作大有关系。

（撰稿人：刘　钝）

第三节　刘　智

刘智（约 1660—1730），清初伊斯兰教学者，字介廉，晚年自号一斋，江苏上元（今南京市）人。青年时曾熟读儒家经史子集和佛家、道家的经书，以后便专心学习阿拉伯文和波斯文，开始专门研究伊斯兰教义，把伊斯兰教的经典著作和哲学观念，用汉文著作的形式介绍给中国广大读者。在社会上流传较广的有《天方性理》《天方典礼》《天方至圣实录》《五功释义》等。

明以前的回回文献，很少涉及穆斯林的宇宙观念。其原因主要有二：一是在明代以前，尚未出现中国穆斯林在哲学和天文学理论方面有影响的著作，这些著作，要到清初以后才开始出现，其代表人物有王岱舆、刘智和马德新等人；二是中国历代的统治者之所以注重回回天文学，是为了利用回回天文学家所掌握的术数知识为其服务，他们崇奉儒教，对穆斯林的哲学观念和宇宙思想并不感兴趣，故回回天文学家在中国钦天监中工作 400 余年，他们的宇宙观念却没有得到传播，这个方面，只有通过伊斯兰教会和穆斯林知识分子自身的工作来完成。

《天方性理》的基本思想，是说宇宙间存在一种普遍的规律和准则，称之为理，从理出发讨论天地万物各自具备的功能，探讨它们产生和变化的道理，并且由此进一步讨论人身小世界本身的自然性质，这种性质是内在的不可改变的，称之为性。宋儒以为人性体现为天理，故性与理在道理上是相通的。该书从人性的观念出发，讨论人类社会善恶的本源，认为大世界造化循环，小世界原始反终，万物只朽其相，



① 阮元：《畴人传》卷三八。

弗朽其理。最后总结出大小世界具有共同的浑沌变化的规律，可以统一于真一，真一化生出大世界就是天地，化生为小世界就是人体。

该书的基本思想均出自穆斯林的传统哲学观念，但是它的高明之处在于利用中国《周易》和程朱理学的观念加以阐述和解释，使得阿拉伯哲学观念与中国儒家的哲学思想巧妙地结合起来。中国古代习惯于将穆斯林的宗教圣地麦加称之为天方，推而广之，也把整个阿拉伯世界称之为天方，而该书是探讨穆斯林哲理的书，所以刘智把它称之为《天方性理》。

刘智在“例言”中说：

> 是书有本经，有图，有传。本经五章，列于卷首。图传六十篇，分五卷，次于后。盖因经立图，因图立传，图以著经之理，传以详图之义。而性理之底蕴过半矣。

这说明了他编书的基本思想是先将六大部伊斯兰本经中有关宇宙的基本观念集载在一起，成为本经五章，其所采集的六部本书的书名为：《昭微经》《道行推原经》《格致全经》《研真经》《费隐经》《天经情性》。为了将这些本经中与此有关的真义阐述得清楚易懂，为人们所理解，刘智画出 60 幅插图，并附加了说明文字，合称之为图传。人们把图传的意义理解了，性理的基本观念也就大致明白了。

本书共有九篇序，其中袁、梁二家序文均写于康熙四十三年(1704)，这应该就是该书的成书年代。该书刻版时曾得到李、马、黑三家的资助，故称为三成堂梓版。在每篇图说之说，还附有黑羽辉的评论文字，这也是该书的一个特点。目前已见有康熙、乾隆、同治三种刻本，可见当时在社会上是很受欢迎的。

《天方性理》主要是讨论大世界和小世界的生化、构造以及它们之间共同本源的。大世界就是宇宙，小世界就是生物和人。因此，这部书就是回回天文学家论述天体演化和宇宙构造运动的著作。作者在“例言”中阐述该书处理理与数的关系时说：



> 是书乃言理之书，非言象数之书也。故言理详，言数略。略于象数，而又不得不言及于象数者，盖象数亦理中所本有之象数，故言理而亦不得不兼及之也。阅者勿谓是书长于理而略于数。

故本书主要篇幅用于说理，但也兼及象数。该书论述大世界的生化时，引用了如下本经的论述为基本观念：[①]

> 最初无称，真体无首，惟兹实有。……(《昭微经》)真理流行，命昭元化……中含妙质，是谓元气。先天之末，后天之根；承元妙化，首判阴阳；阳舒阴敛，变为火水；火水相搏，爰生气土；气火外发，为天为星；土水内

① 《天方性理》“卷首”，本经，第一章，第一页。



积，为地为海；高卑既定，庶类中生（《道行推原经》）。造化流行，至土而止。流尽则返，返与水合，而生金石；金与火合，而生草木；木与气合，而生活类（《格致全经》）。活与理合，而人生焉（《道行推原经》）。气火水土，谓之四元；金木活类，谓之三子。四元三子，谓之七行。七行分布，万汇生成（《格致全经》、《研真经》）。……大化循环，尽终始返。故惟人也，独秉元精。妙合元真，理象既全，造化成矣（《道行推原经》）。

这段文字哲学气味太浓，不易理解，现试译如下：

在那最初天地开辟以前，没有什么名称，也见不着真实的物体。但是，这便是实有的本源。这个有规则的理在流动着，产生着各种变化。其中便慢慢生成微妙的物质，这就是元气。在先天快要结束时候所形成的环境，便是后天发生变化的根本。进入后天以后，由先天产生的这团元气发生了微妙的变化，阴气和阳气开始从浑沌的元气中分离。阳气舒展开来，而阴气则出现收敛，阳气变为火，阴气变为水。火与水相击搏，便产生出气和土。气和火向外蒸腾扩散，便形成天空以及星星；土和水向里凝结积聚，便成为陆地和海洋。上下既已确定，各种庶类也就产生。各种变化在不断地进行，直至产生了土才停止。这种流动到最后也就返回，与水相作用而产生金石。金与火相作用便生成草木，木又与气相作用而产生各种动物。这些动物又经过理性的作用，便形成人类。气、火、水、土，人们称之为四元，金木和活类，称之为三子。四元与三子，统称七行。七行广泛地分布于各地，则各种庶物也都产生了。大自然的变化在不断地循环进行，变化到了终点则又返回原处。其中只有人类，独特地秉承了元气的精华。元真的结合变化，理和象都齐全，宇宙间的变化至此也就定型了。



这就是古代阿拉伯人的天体演化学说，它们与中国古代的天地开辟学说有许多相似之处。此处所说的理，与中国上古所说的道和灵的概念相一致。同时也都通过元气和阴阳二气的作用形成天地日月星辰。其中有一个明显的不同之处是中国人讲五行，而阿拉伯人讲四元。四元与金木活类又合为七行。其先天、后天、理化、形化的关系可以用图 8－10、图 8－11 表示。

在《天方性理图传》中，有一幅阴阳始分、终分和变化图（见图 8－12）。在始分图中，白中夹有黑点，象征着阴阳二气在元气中开始分判出来。刘智以为，太空中的元气原本浑沌一片，但元气中包含有性和智二种物质特性，智是有为的性格，有喜动的机制；而性则具有安定的性格，保持不动，于是出现二分之象[①]：

① 《天方性理图传》卷一，第 22 页。

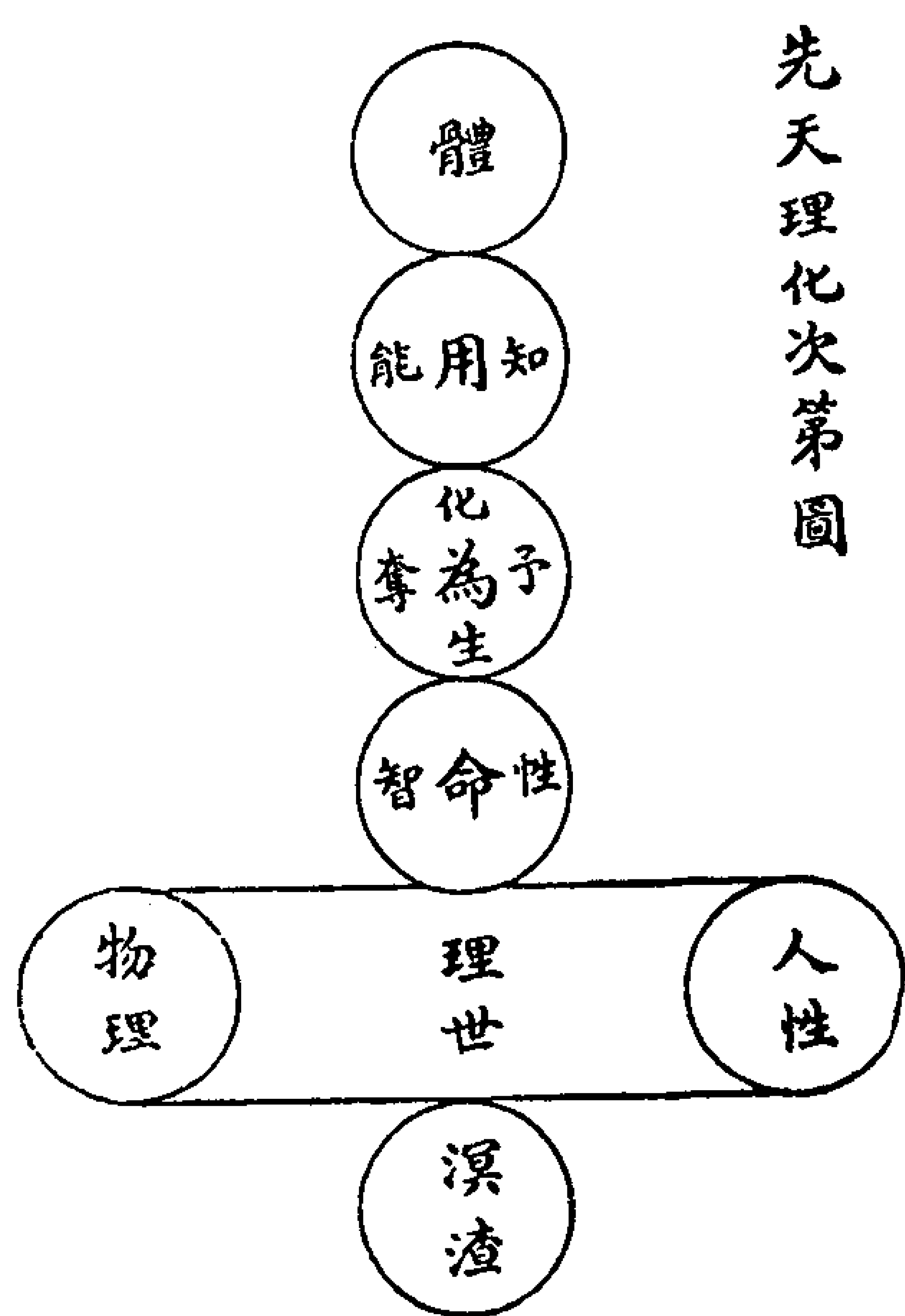


图 8—10 先天理化次第图

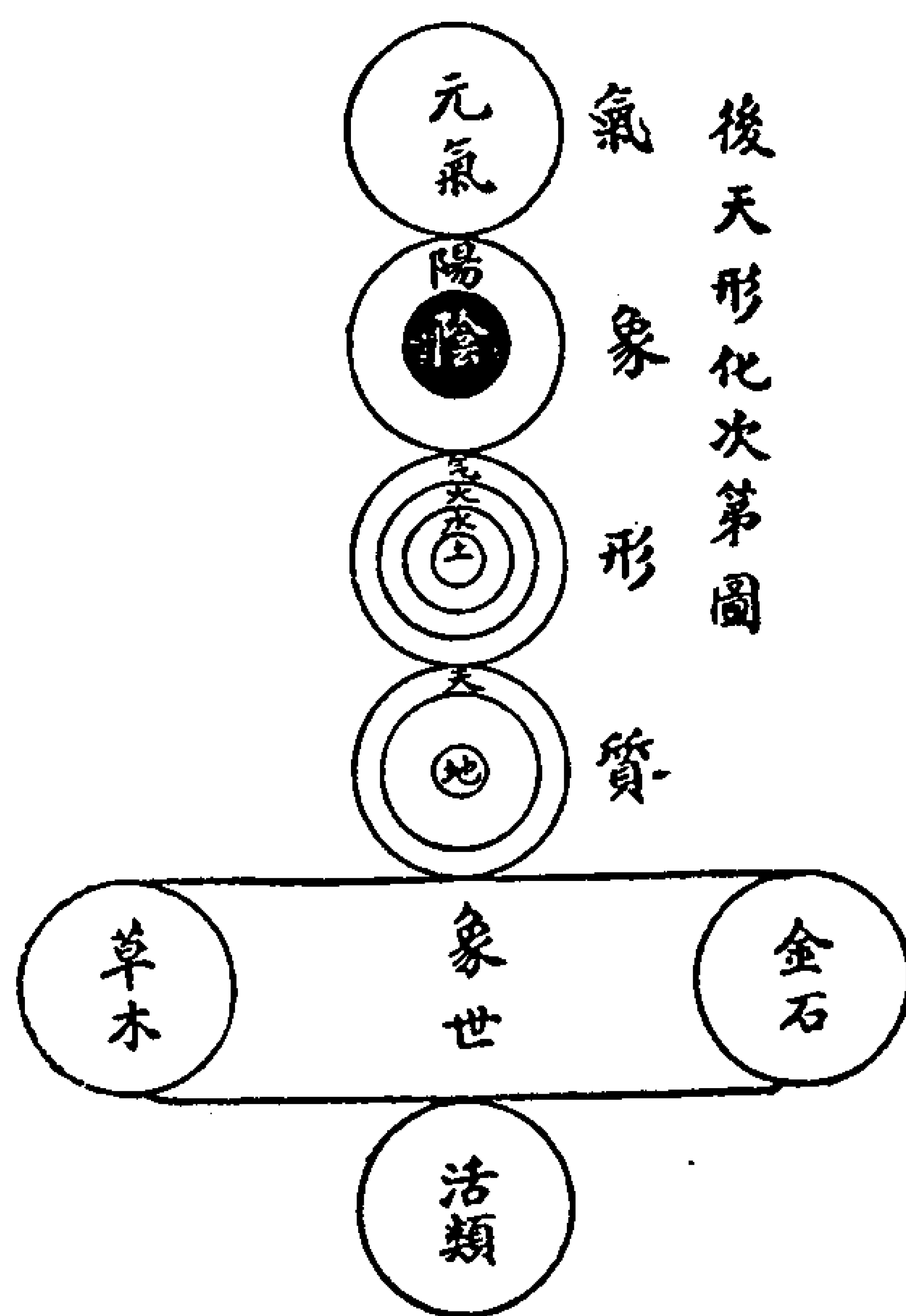


图 8—11 后天形化次第图

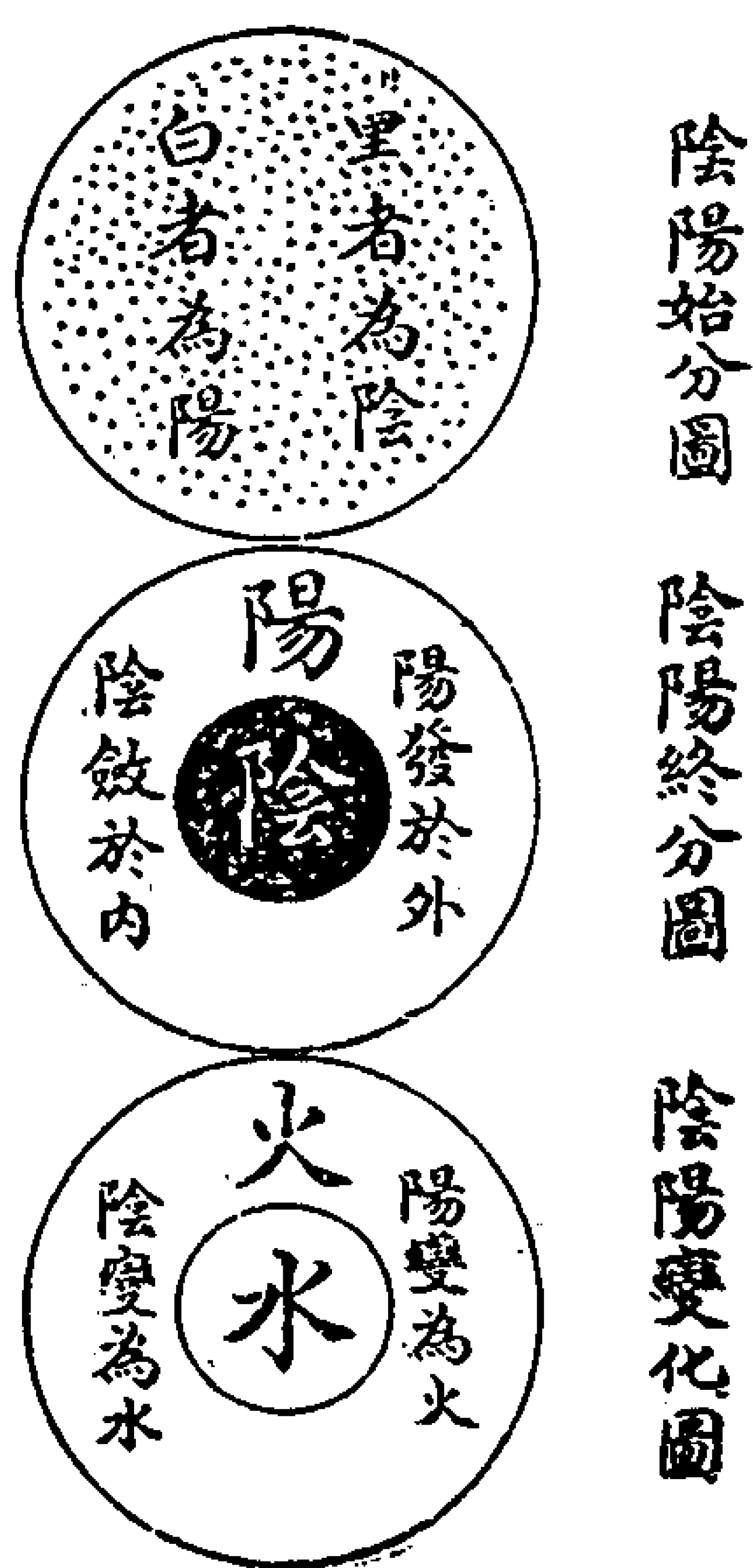


图 8—12 阴阳始分、终分和变化图

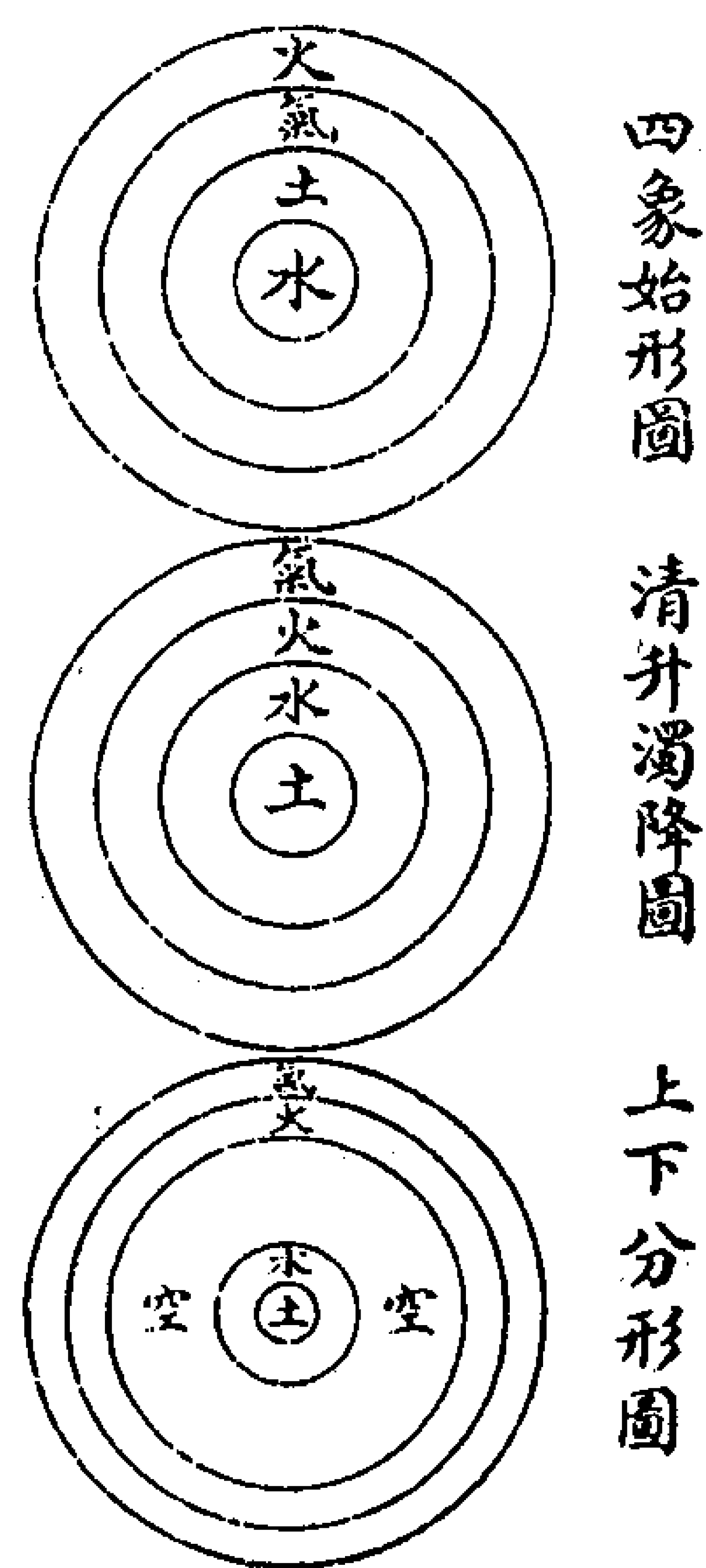


图 8—13 四象始形、升降和分形图



此一气化而为两分之由来也。其初分也，二者互杂不甚相离，及其后也，阳积于一处，而骎骎乎有向表之机；阴积于一处，而隐隐乎有向理之势。智所余化而为阳，性之所余化而为阴，此阴阳之根起于性智之所余也。

阴阳出现分判的动力，形成阳气外逸，阴气内积之势。以后阳气积聚成为火，阴气凝结变为水。

自从水火二元素形成之后，宇宙间便发生了根本变化，这两个元素相互作用，火作用于水，使水蒸腾而产生实体的气，同时又残存下渣土，由此便生成实有的水火气土四元素。

图 8－13 为四象中的始形、升降、分形图。刘智在《天方性理图传》中解释四象的产生与变化时说[1]：

水受火炽而气生，气即水之妙化，而欲升腾者也。水体虽下，而含有真阳，故受火炽而气直欲升腾。火与水搏而土生，土即火之存迹，而欲坠落者也。火虽上而含有真阴，故与水搏而其土不得不坠落。

根据它们的特性，产生气土之后，气上升，土下沉，达到上下分形的结果。上下分形之后，天地定位，火与气相化合而形成日月星辰，土凝结成地，水附于地而成江河海洋，从此宇宙定型。

在《天方性理图传》中，载有一幅“后天形器图”，它将宇宙分成 14 层，即上界九天之位和下界五层。上界九天自上而下为阿而实、库而西、土星天、木星天、火星天、太阳天、金星天、水星天、太阴天；下界五层为风、火、水、土和金木活类。刘智将金木活类称之为风、火、水、土四气所生的三子，此三子合为最低一层，即为地球。

对于上界九星，每一层安置一星，其顺序按距地远近排列。只是最上的两层有些变化，库而西和阿而实都是阿语的译音，之所以如此，是出于其含义较为复杂。依据古代阿拉伯天文学家的观念，阿而实这重天分有形和无形两面，有形面向下，无形面向上，向上的一面尚属先天，故先天后天的两界，并无隔绝。这个天层在欧洲称之为宗动天。至于第二层库而西，为二十八宿及群星所附丽的天层。宇宙间天地化生仅到此为止，向上则为至清境界。



在《天方性理图传》中，载有一幅“九天远近图”（图 8－14），图中载有各个恒星天离开地球距离的数值。刘智在解释各天的距离时认为，由于天是无形的，只能观测其本天之星的远近来确定。各行星的远近是利用它们的恒星周期求得的。各个天层的远近，就是它们天球的半径，得知半径之数，就可求出天球的大小。

在《天方性理》中，同样也载有各个恒星相对于地球的大小值，其判别的根据是恒

---

[1] 《天方性理图传》卷一，第 24 页。

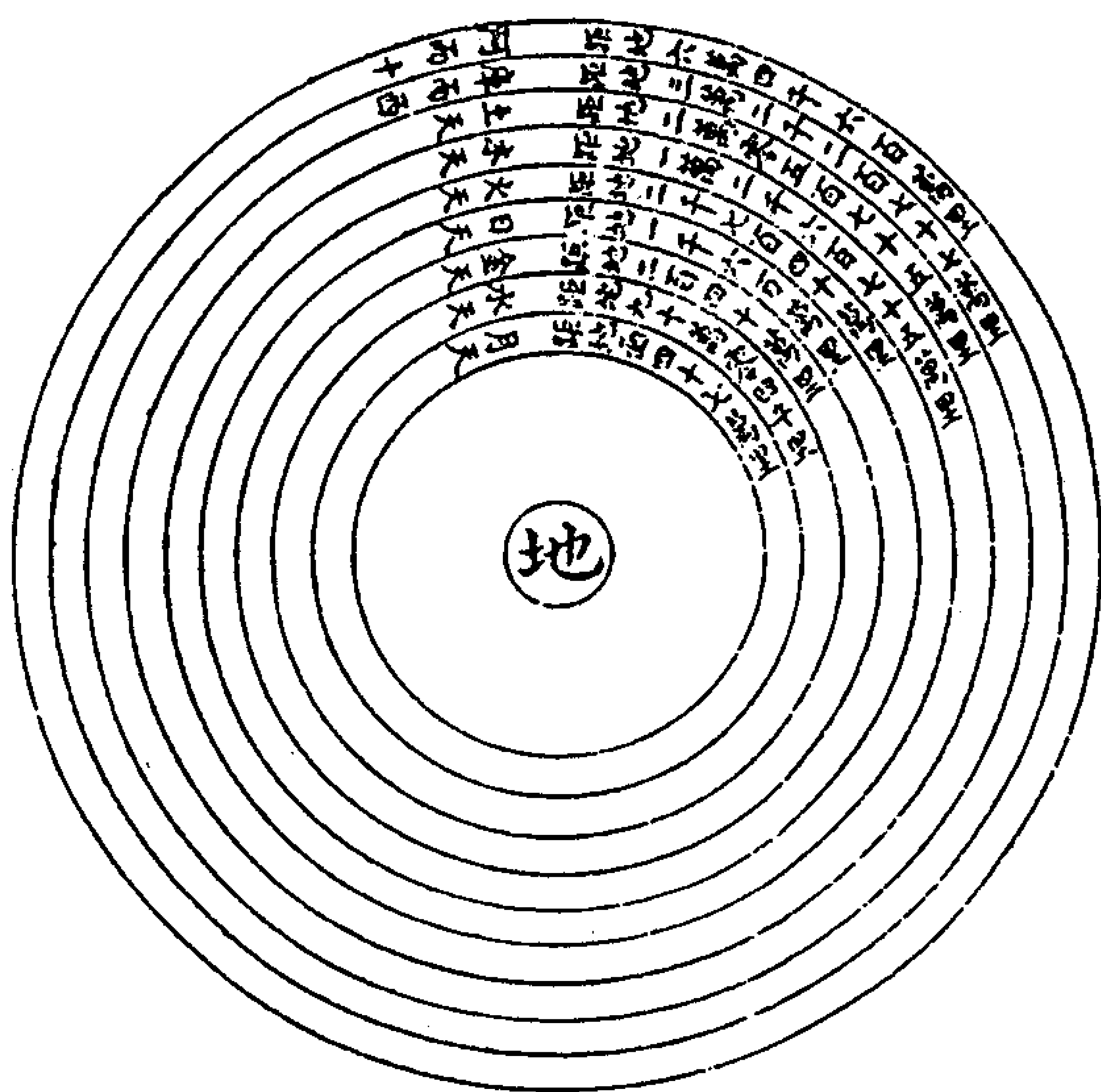


图 8—14　九天远近图

星附丽于恒星天上（库而西），到地球的距离是固定的，则各恒星球体的大小应与星等成比例。自一等至七等，分别是地球的 110、90、70、53、35、17、7 倍。至于行星，也有另一套计算方法，他认为土星是地球的 90 倍，木星 74 倍，火星 1.5 倍，太阳 165 倍，金星是地球的 1/36，水星是地球的 1/20000，月球是地球的 1/38。这些观念和计算方法，大多来自古希腊。阿拉伯人继承了这些观念，并且根据自己的认识予以阐述和发挥。由于进行这些推算时所做出的假设大多不符合实际，所以所推得的结果也与实际不符。真正科学的数据，要等欧洲文艺复兴以后哥白尼等一代人来完成。



在《天方性理图传》中，载有一幅“九天旋转图”（见图 8－15），画有九层天球、黄赤道和南北极。图中的说明文字曰：“阿而实之行自东而西一日一周，库而西以及以下七天皆自西而东其行迟疾不等。”这就是说，阿而实为沿赤道自东向西做周日旋转，恒星天和各行星天球则沿黄道以各自的周期转动。它把阿而实自东向西的旋转称为自然之动，而把库而西自西向东的旋转称之为反制之动。

宇宙间的天体都在持续不断地做圆周运动。它们的动力所在，却直到牛顿发现物质间存在万有引力才最终从科学上得到解决。古人也一直在试图寻求这种动力的来源，欧洲人把它假想为上帝的推动，《天方性理图传》解释说[①]：

阿而实何以自东而西？盖东方者，生气所聚之专位也，气之专位在东，故其旋转自东而起，起于东则行于西矣，是之谓自然之动。库而西并

① 《天方性理图传》卷二，第 22 页。



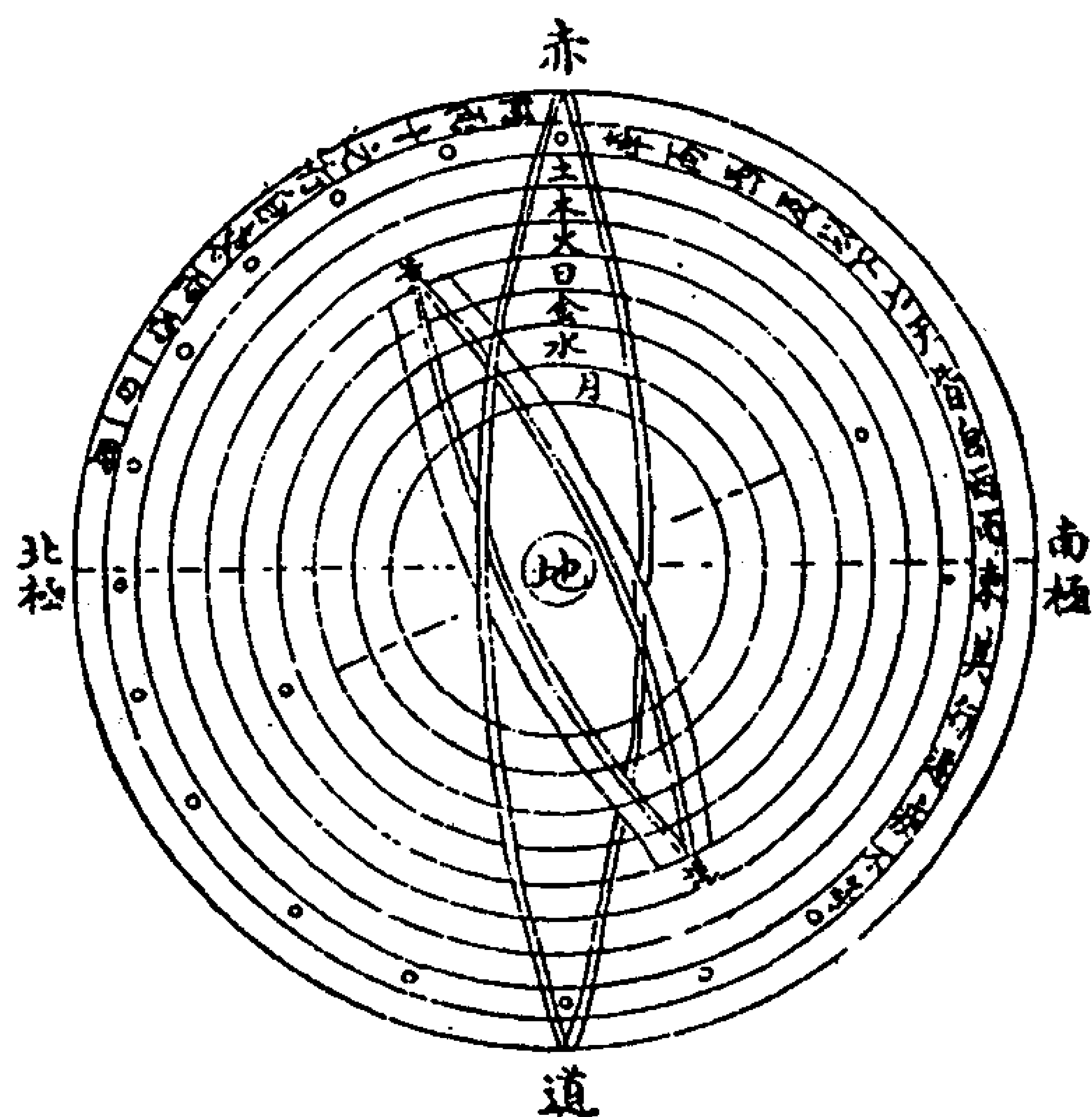


图 8—15 九天旋转图

> 以下七天何以自西而东？盖西方者，土所分定之正位也，八天之本命皆与土有相关之义，土之正位在西，故其旋转自西而起，起于西则行于东矣。库而西并以下七天何以皆与土相关？当其元火冒入于天体而成象也，惟阿而实为元火之所不能丽，其余八天皆有焉。土者，火之所存迹也，故八天皆与土有相关之义。

意思是说只有气才能上升到最高天层阿而实，气位在东方，在气的推动下，阿而实便自东向西旋转；而库而西以下分布着火，火与水相搏生土，土位在西方，这些天球在土的推动下便自西向东旋转。

《天方性理图传》在解释反制之动的含义时说：

> 何为反制之动？阿而实之旋转也，自东而西，带动以下八天亦有自东而西之势，而八天本行实自西而东，故其势虽为阿而实所牵动，而本行却不随之，虽有自东而西之势，而实为自西而东之行。是之谓反制之动。

由此它进一步说：

> 两动不息，则不惟东方之气、西方之土互相融入，即南方之火、北方之水，亦莫不因其旋转带动，而运行布入矣。四气之所以交融而为化育万物之原者，皆九天旋转之力为之也。

八天自西向东旋转的速度大于阿而实自东向西牵动的速度，故八天虽受阿而实牵动，但叠加之后仍各自以不同的速度自西向东旋转。这种运动称之为反制。这两种运动同时还带动了南方之火和北方之水运动，由于这四种气交融运动，才成为化育万物的原动力。



对于四季变化的原因,《天方性理图传》也有一种独特的解释。它说[1]:

未有四气之先,空中无四时也。四时即四气轮转流行而成者也。轮转流行之中,各于其某一气所专盛之位,而因各以其时专称之也。流行而至于东方所专盛之气,则其时为春……盖气与火之流行以发越为流行者也,故其为时也,春与夏亦皆有发越之象;土与火之流行以收藏为流行者也,故其为时也,秋与冬亦皆有收藏之义。收藏之力既尽,则发越之机又起,发越之机起,则东方所专盛之气又于兹而复始矣。此四时之所以往复也。

这就是说,古代阿拉伯人认为,四季的变化,是由于四气轮转流行的缘故。东方之气流行,其时为春;南方之火流行,其时为夏;西方之土流行,其时为秋;北方之水流行,其时为冬。然后再往复进行。

在《天方性理图传》中,还载有一幅"七洲分地图"(见图 8－16)。是说地为七洲,各有名称,每个洲都对应于天上一颗星,从而各洲的人物性状、物产和地形各不相同。对应如表 8－1。

表 8－1　七洲分地图与对应星

洲名	阿而璧	法而西	赤泥	偶日巴	欣都斯唐	细尔洋	锁当
对应星	日	木	月	火	水	金	土
特征	明正自强多宝	壮伟能事,多嘉植	志趋易移,地多濡湿	好辩喜争,物多隐毒	聪明尚巧物多异状	秀美刚直物佳丽多奇产	钝窒黑小善担负,多卤地草兽稀少

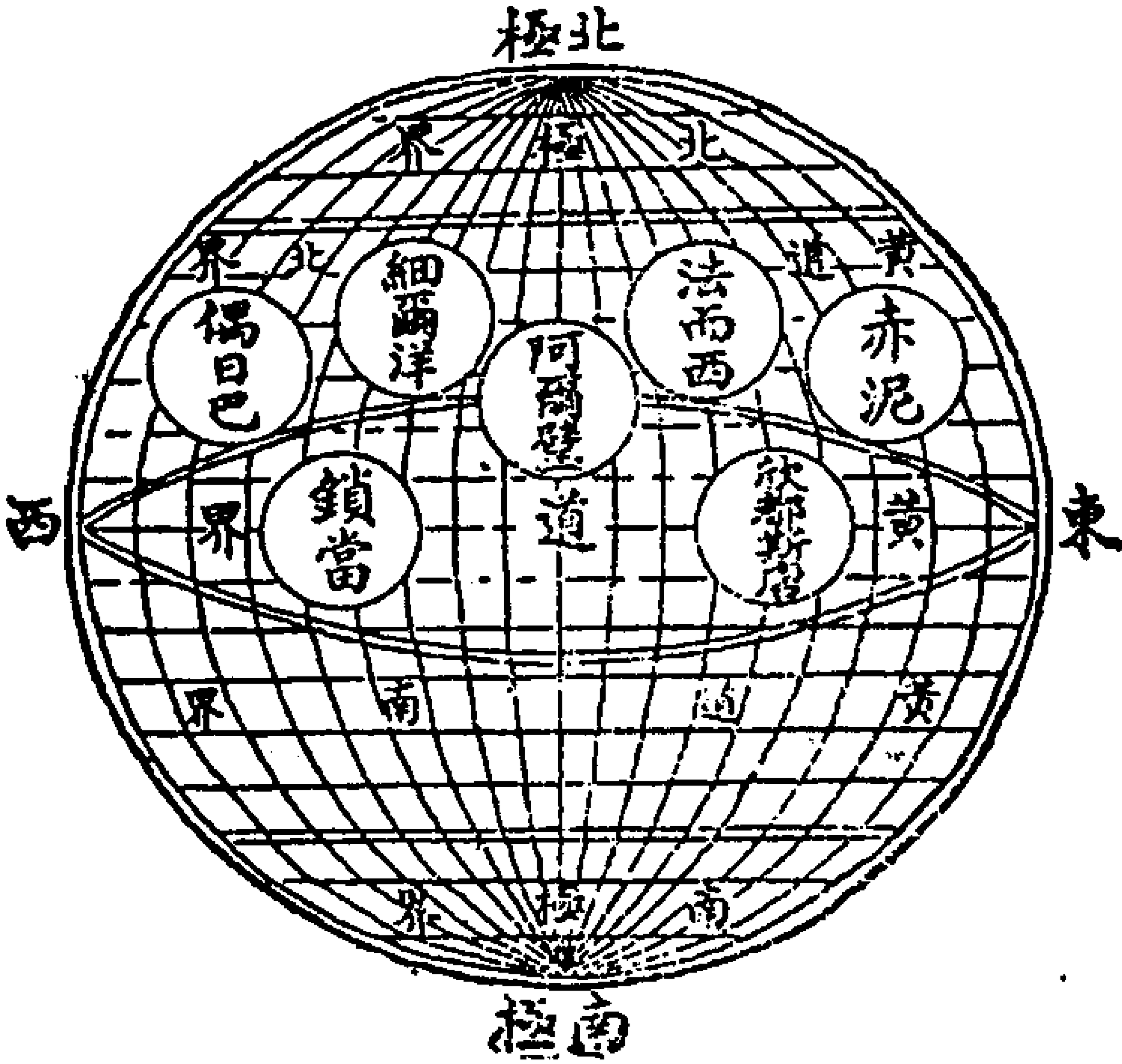


图 8－16　七洲分地图

[1] 《天方性理图传》卷二,第 28 页。



这地球上的七洲，完全是出于古代阿拉伯思想家的想象，并无实际依据，这个七洲概念，与现今人们所了解的地球上的七大洲毫无共同之处。这种假想，与中国上古邹衍所提出的大小九州概念则有某种相似之处。

又传文说[①]：

> 地者，土与水相附而成形者也。其体浑圆，而位于空中之中央。周九万里，其深厚二万八千六百里。分形有七，是为七洲。……而其中有寒热温凉之各异者，以其上庆黄道之度数各有远近之不同也。合大地而总观之，自南至北，分五大界：一黄道界，其地甚热，以其当日轮之正照故也；一南极界，一北极界，此二界甚寒，以其与日轮远故也；一黄道南界，一黄道北界，此二界寒热适中，以其与日轮不远不近故也。地气寒热温凉之故，皆上界黄道为之映照于其间也。

宋朝以后的哲学家和思想家，从哲学的推理和判断出发，已经开始认识到地体浑圆、地在气中了。但是，天文学家的认识却较为迟钝，始终没有提出过明确的地圆概念，从而更没有自觉地有意识地去推求地球的半径和地面1度的长度。由于阿拉伯人早就受到古希腊天文学家的影响，他们的地圆概念是明确的，所以，此处不但明确地指出地体浑圆，人位于空中之中央，同时还较准确地记载了地球的周长为9万里，直径则为28600里。同时还提出地分寒热温凉五带的观念，并且正确解释为由于太阳正照斜照的照射方向不同所至。而中国古代的天文学家尚未提出过将地球按冷热程度划分为五带的观念。

以上介绍了《天方性理》中记载的有关天地形成和变化，对天体构造的认识，天体运动和四季变化的机能等问题，大致上已可勾画出阿拉伯人的宇宙观念。这本书的成书年代虽然在清代康熙年间，但是它所引用和介绍的内容，却是天方古代的传统观念，这些观念大多出自伊斯兰的几部著名的经典，它们的成书年代则是阿拉伯帝国形成的早期或中期，故其所反映的观念是较为古老的。这些观念在阿拉伯世界中影响较为深刻，故刘智才予以总结和解说。通过这本书的介绍，我们对穆斯林的传统宇宙观以及在中国的传播情况，便有了一个大概的认识。



与《天方性理》有关的介绍阿拉伯人宇宙观的著作还有一部《昭元秘诀》。此书刘智在译著《天方性理》中已有引用，他将原书名译作《额史尔》，《昭元秘诀》是译者破衲痴所用的译名。书前载有丁卯年的序，故可能成书于1747年。李廷相在序文中说：

> 刘子介廉集诸经之精萃，著有性理本经，亦以文理高深，非尽人所能

① 《天方性理图传》卷二，第30页。

了解也。今破衲痴君不殚勤劳，将《昭元秘诀》额慎晒睁，以汉文译出，不求高深，要使雅俗共赏。……是书之出，实为研究性理之指南，当不胫而走也。

这是说本书是继《天方性理》之后又一部阐述性理的书，其特点是文显而理深。但实际上，此书在许多地方补充了《天方性理》未载或记载甚略的内容，故于此一并予以介绍。

《昭元秘诀》在介绍行星的运行周期时说：

土星二十八年行一周，木星十二年行一周，火星三年行一周，金、火、太阳三星一年一周，太阴二十八日余一周。群星二万一千六百余年一周。

与《天方性理》不同的是，该书把所有的行星周期都做了介绍。由于此处主要是阐述性理的，故对各星的周期只载约数，并不是不知道它们的精密数值。较为少见的是此书还记载了群星的周期，即恒星的周期，它当然是相对于春分点而言的，实际是指赤极绕黄极的绕行周期。此值比现今公认的值 26000 年略小。这个数值是以岁差 60 年差 1 度推得的，比《明译天文书》66 年和《回回历法》75 年的值都大。

本书最为详尽之处是对于地体的认识，它说：

天包地外，地在天中，犹一点也。……地体围九万里，径三万里。其体浑圆，人类散居其上。天轮一转为一日。如我国见日出为清晨，而极东者为正午，极下者为黄昏，至于极西者，岂非夜半乎。

天之体浑圆，有南北两极，若碌碡之有两脐也。两极正中之一周为赤道。……日行于黄道，另有一轮，其势劲络赤道。其轮之北极，在于赤道北极之南二十三度半，故其半在赤道北二十三度半，而半在赤道南二十三度半。日行于极南则多隐而少显，其所照我者甚斜，故昼短天寒而成冬矣；行于极北则多显而少隐，其所照我甚直，故昼长天热而为夏矣。



我国离赤道五十度，离北极四十度，共九十度。四九三百六十度。每度二百五十里，共九万里。此地之一周也。

由于中国古代缺乏对地体大模样的正确认识，认为阳城为天地的中央，南北距离阳城每千里影长差一寸。至元代郭守敬也仅到遍测各地北极出地高度，没有明确的地理纬度概念，更没有懂得测出 1 纬度里长的意义。《昭元秘诀》不但载有每度 250 里长，同时还推得地球一周之长为 9 万里，更由周三径一之理，推得地球的直径为 3 万里。这个数值还只是便于计算的概数。

《昭元秘诀》还就对趾人的观念做了说明：

或曰地体浑圆，人类散居其上，与我对足者岂不坠落乎？曰凡重物向下，空中有物，必坠落于地。亦如大地之向下也。若执以我之上为上，彼



将自地下而坠于天上乎。

中国古代的地体观念是平直的，在同一块大地上存在对趾人的观念难以接受。不过自明末西方耶稣会士利玛窦等来华传播西方自然科学知识以后，对趾人的观念已经传入，地圆的概念也不再是新奇的东西了。

（撰稿人：陈久金）

第四节　李　锐

一、生平简介

李锐（1772—1817），字尚之，号四香，亦号茂材，江苏元和（今苏州市）人，生于乾隆三十七年（1772）。和那个时代的大多数知识分子一样，他也曾寄希望于苦读经书进科场，一举成名入仕途，埋头读书，习作八股。在县学期间，偶然从书塾中看到了数学书《算法统宗》，就带着好奇心阅读起来。

清代自从雍正大兴文字狱打击知识分子以来，文人不敢触及时弊，转向对古籍的考据训诂。数学与时政无嫌，一时间研究数学和古历法的人增多起来。乾隆时期，经学家在学术界占有统治地位。在这种思潮的影响下，加上李锐个人的爱好，就对《算法统宗》细心研读，边学边算。由此一读，反而扫掉心头学八股的刻板沉闷之气，为他以后研究数学打开了道路。

我国古代天文历法中除历法外还包括有日月五星、日食、月食及恒星位置的测算，因此，不同朝代的历法中包含有各自的数学方法。所以清代乾嘉学派的学者们在研究数学时，往往对天文历法展开研究和考证。李锐自然也不例外，他收集历代天文历算资料，钻研其异同，探讨其算法，考证其真伪，添补其缺损散失。那时著名的经学家有戴震、钱大昕等，他为了提高自己学术水平，慕名求学，曾从师于钱大昕。



钱大昕（1728—1804），字晓徵，号辛楣。乾隆十九年进士，升至詹事府少詹事。后引疾不出，于嘉定教学。李锐与他研讨过中西算法的异同之处，包括从汉代三统历到元代授时历等各家历法的特征等许多问题。钱为东南大儒，学生有上千人，他对李锐颇欣赏，说李的水平超过他自己，愿意同李讨论。晚年他执教于紫阳书院，每日翻阅群书，从事校注。每遇不决，常与锐一同商榷。当时有人把钱大昕与被誉为“国朝算学第一”的梅文鼎并列。钱对锐尊重，说明李锐在当时文人中名气不小。

学习和研究数学及天文历法，使李锐对功名的追求减少了热情。嘉庆九年甲

子科，江南主考官听说李锐很有学问，就想取他做官。那时32岁的李锐被称为"南李"，"北李"则是侍郎李云门。主考官临出京城时讨计于李云门，问怎样才能将李锐罗致录取，侍郎说他可为主考拟题一则，能答上来者即李锐。结果考卷中无答得好的。考官纳闷，及至发榜，方知李锐因病没有参加该科考试。

李锐年轻时不图升官显达，也可能命运不济，错过了机会。他在家中办馆，教着一些学生。虽然收入不丰，却获得钻研学问的时间，他的学生有一些已考中及第，但他始终是个生员。李锐24岁就已经名噪一时，当时与焦循、汪莱齐名。人称他们为"谈天三友"。汪莱善提创见，焦循善释古书，他却能兼汪、焦二人之长。嘉庆初，他有机会读了秦九韶、李冶的数学著作，做过一些校勘和注释的工作。他还为焦循所著《天元一释》二卷和《开方通释》一卷作序，称焦著的发挥"无余蕴"，方法巧妙。

乾隆六十年(1795)阮元任浙江学政，后于嘉庆初又任浙江巡抚。他早就有心编纂一部历史上数学家、天文学家的生平和学术成就的传记，即后来的《畴人传》，但因工作量大，无得力且志同道合的合作者而未能动笔。在浙江任职期间，他知道李锐很有学问，就把李请到杭州。见面之后，谈吐投机。李愿意与阮合作，共纂《畴人传》。于是阮留李在幕府充任幕僚，实质上全力编书。他们共同商定《畴人传》的体例，开列了古今中外能够进入书中的畴人名单，讨论了所需文献史料，嘱咐李锐着手编写。为了加快进度，阮元又找了他的门生周治平相助。最后编成四十六卷《畴人传》。

嘉庆八年(1803)，李锐应扬州知府张敦仁之请，赴扬州做了知府的幕宾。张敦仁长李锐14岁，他撰写了《缉古算经细草》三卷，试图以天元术解释唐代王孝通的《辑古算经》问题；另撰有《求一算术》三卷，阐述秦九韶《数书九章》中的大衍求一术；还写了《开方补记》八卷，《通草》一卷。他请来李锐就是为了让他替他校算这些书籍。



除了以上介绍的他与别人合作的成果以外，李锐自己也撰写了不少著作。他校注了《三统历》《四分历》和《乾象历》；重新补修了已失佚多年的宋代《奉元历》和《占天历》；对南朝何承天在历法中用的调日法做了阐述。在数学上，他自己撰有《勾股算术细草》一卷(1806)、《弧矢算术》一卷。在这两部书中，他试以天元术解勾股问题和弧矢问题；他撰写《方程新术草》一卷，为刘徽《九章算术注》中的"方程新术"作校勘和细草；他还写了《开方说》三卷。

他的《开方说》是由他的学生黎应南完成的。黎是广东顺德人，嘉庆十五年居苏州并跟李学习。嘉庆十九年(1814)，他看过《开方说》初稿，1817年他遵从老师遗命，依法推衍，纂成《开方说》下卷。



李锐一生未曾于科场得意，社会地位较低。他谦虚好学，诲人不倦，是个颇受人尊敬的老师。在学术上，他属于乾嘉学派。着重在天文历法和数学古书的校勘补遗上下工夫。他喜爱数学，有一定成就，在天文上也有相当贡献。

二、李锐在天文学上的主要成就

1. 参与编纂《畴人传》

《畴人传》是清代一部重要的天文著作。它泛舟于史海，寻觅有关天文学家和数学家的文献，它引经据典，介绍了历代重要的天文历法。书中收中国畴人 270 多人，还收有西洋畴人 41 人。其中有一些是传教士中的天文学家和数学家。在许多人物后面，还加有编者的评论，是一部很有价值的文献史料汇编。

该书前四十六卷，均署名阮元编纂，这是不奇怪的。第一，这套书最初的构想是阮元提出来的；第二，阮元参与讨论及最后定稿；第三，阮元官居巡抚，是受乾隆赏识的封疆大吏和内阁学士。阮元没有否定他人在编书中的作用，在凡例中他写道："助元校录者，元和学生李锐，台州学生周治平力居多。"并说"附书以志不忘"。不过李锐的工作要比校录为多。首先，李锐参与了该书体例、人物选取、史料收集和分析等工作。其次，阮元有官务在身，事情很多，从官场应酬及变化看，他于嘉庆三年升任兵部右侍郎，礼部右侍郎，并保留浙江学政任，该年九月任满回京，十月署浙江巡抚。在巡抚任期，他曾负责进剿外夷对沿海的袭扰，显然不能用许多时间来编书。只有在他那里做幕僚的生员，才能埋头于故纸堆中，夜以继日地工作。所以尽管署名阮元，李锐在编写《畴人传》中做了大量工作是明显的。

由于李锐擅长运算，对古历中数据的计算也很精通，所以《畴人传》中凡涉及历法具体计算的，多为他所辑录，有关的评论初稿，也都是李锐的手笔。这一点阮元也直言不讳，在他写的"续畴人传序"中，说自己"少壮本昧于天算，惟闻李氏尚之，焦氏里堂言天算。尚之往来杭署，搜列各书，与元商撰成《畴人传》"。这段话证明我们前面的说法是正确的。下面再举出一些具体例子，说明李锐在编《畴人传》时所做的一些工作。



(1)对汉书《三统历》的注释，使他发现其日法与月法来自太初术，并评论于司马迁之后。

(2)对制定《三统历》的刘歆有保留，认为他用"黄钟初九自乘得八十一"为日法之说隐去了计算的真相，故意搞神秘化。他认为实际上是因为回归年长取为 $365\frac{385}{1539}$日，而$\frac{385}{1539}=\frac{1}{81}$故得到 81 这个数，从而抹去了《三统历》神秘的色彩。

(3)在评论编䜣李梵《四分历》时，不掠人之美，保留了他的老师钱大昕的评论，肯定了《四分历》在《三统历》基础上的创造。

(4)对刘洪的《乾象历》做过注释，详摘了乾象术，对该历中考虑了月行有快有慢给予很高的评价。

(5)南北朝时虞广刂所制《大同历》，其数据已缺，李锐以其法推算，得到该历所用的一些基本数据。

(6)对何承天的调日法做过阐述，并用来考查一些畴人的工作，得出"朔余强于强率者，马显、张宾、杨忠辅三家而已"。朔余是用分数表示朔望月小数部分时分子的数值，强率是大于真值的近似值。

(7)为耶律履的《乙未历》填补了基本数据。

(8)在介绍李冶时，明确指出古立天元术就是欧洲数学中的借根方，李锐对李冶的算式做了复校。

(9)对没有颁用的历法也十分注意，如宋代王处讷制《应天历》，李锐推算了该历的基本数据。

(10)对一些粗疏的历法，他也用力找出其原因。如宋代吴昭素制《乾元历》，李锐发现其朔余竟采用何承天的那个较大的近似值，说该历太粗疏了。

总之，在编纂《畴人传》的时候，李锐发挥了自己的特长。他摘出的历代历法及他对这些历术的看法，对于后世研究古代天文历法无疑具有重要价值。阮元在许多人物的评论后面，保留了李尚之的评论，使得我们能够更多地了解到李锐在《畴人传》中所做的工作。

2. 校注古代天文历法

李锐校注过汉代《三统历》，后汉《四分历》和《乾象历》，校就要剔去后人传抄刻印之误，去掉刻者以己之意度古人之说，以致改错之处。为此，须看不同版本，多方收集材料。因为这些历法是在李锐以前将近 2000 年的东西，年深月久，错漏之处是不可避免的。例如《四分历》中有"以后大为疾"，无法理解。李锐改为"以后天为疾"，对应汉章帝说的"先天而天不违"就知是指天象发生在预报前与预报后了。又如《三统历》中有"自汉历初起尽元凤六年三十六岁"，李锐考证后改为"自元封七年起(前 104)，尽元凤六年(前 75)止三十年，此当云'三十岁'，'六'字衍"。说明李锐的校勘十分细致。



至于注释就更为困难。因为只有在搞清楚原文之意以后，才能注释。注释中有的要指出文辞来源，有的要说明词义，有的数据要说明如何得来，有的数据要讨论其正确与否，总之，注释这些历法花费了他不少心血。

他说明《三德历》中用统术、纪术、岁术来分别推算节气、朔望、五星及"太岁"所在。对"青龙所躔"，他注释说："所以定岁名也，青龙岁星也。"可见青龙指的就是木星，而岁名——某一年的名称，要靠与岁星运动方向相反的，人们假想出来的"太



岁”所在的位置来确定，从而解释了岁名的命名。

在注释《四分历》时，注“仪表”为“仪，谓浑仪；表，谓圭表”；指出《四分历》与《三统历》有许多不同之处，如岁名不用“超辰”，五星始于“合伏”即开始计算行星是从它们淹没在阳光之时起算的。这些注释方便了后世对古历的探研。

李锐在注释历法时尤其对数学详加核算，这是他注历的最大特点。因为古历中所载数据，并未给出详细的计算，有时甚至未述来源，只有搞清这些数据，才能更深入地了解这些历法。例如《四分历》中说：“百七十一岁，当弃朔余六十三，中余千一百九十七。”李锐加注说：“置一百七十一年，以章月二百三十五乘之，得四万一百八十五，如章岁十九而一，得积月二千一百一十五，无闰余，至朔同日。以月法二千三百九十二乘积月，得五百五万九千八十，如日法而一，得积日六万二千四百五十七，小余六十三即朔余也。置朔余六十三以十九通之，得千一百九十七即中余也。”他在这里较详细地说明了《四分历》过简的一段数据其含义。在这一段说明里，他用到了几个基本数据：19 是闰周，即采用 19 年 7 闰；回归年长为 365 $\frac{385}{1539}$日，其中 1539 叫统法；19 年中加上 7 个闰月后共有 235 个朔望月，这就是 235 这个数的意义；古人记一周天为 365 $\frac{1}{4}$，这里采用周天数为 562120，它是一个统法即 1539 周天的数值；所谓月法 2392，是由$\frac{562120}{235}$计算而得。李锐的注释用现代算式表示就是：

$171\times235=40185$

这是 171 个闰周里共含月数，因为每一闰周 19 年中有 235 个朔望月。

$40185\div19=2115$（积月）

这是 171 年中共含朔望月个数。

$2115\times2392=5059080$

这是一统即 1539 年共含日数被一闰周的月数除，得到月法 2392 即一统中每闰周月的日数与 171 年朔望月数的乘积，名数为日。

$5059080\div81=62457\frac{63}{81}$（积日）

这里 81 是日法，即朔望月小数部分以分数表示时的分母值。这个算式讨论上述日数是否含整数的朔望月，结果不是整数，其分数部分为$\frac{63}{81}$，这里 63 被称作“朔余”，一个闰周为 $63\times19=1197$（中余）。由这些算式，我们了解了古代历法中的一些运算，并搞清了“朔余”、“中余”其数学含义。

李锐在注历中经常注释各种数据的来源及计算，虽然这些注释仍需要我们仔细地去推敲，但比起过于简略的原文来说，已经进了一大步。



3. 复原奉元历和占天历

在李锐留下的《李氏遗书》中有《补修宋奉元术》和《补修宋占天术》两部历法。这是李锐复原散佚古历的作品，分别介绍于下。

奉元历是宋代熙宁年间(1069—1077)的产物，《宋史》称“奉元法不存”，这是因为宋末与辽、金战事频繁，终于在1129年南渡达今杭州，偏安一角。这几十年，战乱流离，文献史料大量散佚，故南渡后，奉元术已不知下落。绍兴二年(1132)史官要编修《神宗正史》，诏陈得一、裴伯寿补修，将奉元术重新补了进去，但随着南宋王朝的覆灭，资料再次遗失，此后奉元术则不存。

奉元历是淮南人卫朴所制，卫朴是一个民间历法家。熙宁七年(1074)，一次月食，历书预报小对，皇帝下令造新历。后沈括提举司天监，他推荐卫朴编造新历。卫朴曾说崇天历中的节气都比实测晚，明天历的朔日却发生在朔日尚未来到的时候，这些历法因起始点不对，就会与实际天象不符。卫朴用了8年时间，造出新历奉元历，并颁行于世。

李锐根据《元史》中记载的《积年日法算补》和《气朔发敛》，确定了奉元术的基本方法，从而使湮灭700余年的历法，重现于人们面前。为了证实推算无误，他用复原奉元历推求熙宁七年时的一些合朔时刻，经验证，气朔并合，李锐的工作获得成功。

史书未载占天历的作者。原来在宋徽宗崇宁二年(1103)，司天监有人发现历书上说该年十一月朔为丙子不对，就造了占天历，改十一月朔为丁丑，并颁历。后来改用纪元历而被废，不久就散佚了。

可能李锐感到自己处境与造占天历的人颇相近，对占天历受压泯灭十分愤懑，就决心复原该历。另一方面，从研究历法的沿革上说来，复原该历，也是值得称道的。



李锐从元史的记载中，演绎推算，寻找占天术基本数据。他考虑到观天历是行用占天历前的一个历法，参照观天历推出了占天历，这一方法是正确的。

前已叙述，除奉元术、占天术外，李锐对其他一些散佚的历法也分别进行了推算，如辽耶律履的乙未术等。在历法研究上这种打破沙锅问到底的钻研精神，令人钦佩。他所做的挽救泯灭文化遗产的工作，在清代颇为出色。

4. 李锐的其他天文工作

乾隆二十五年(1760)，法国传教士蒋友仁曾向乾隆皇帝献《坤舆全图》。三四十年后，皇帝又命内阁学士何国宗、右赞善钱大昕对蒋所翻译的说明文字加以润色，并以《地球图说》之名出版。李锐参加了此书的出版工作，为该书绘图。

李锐对这本书十分重视，他更注意这本书介绍的新知识，因此在《畴人传》蒋友



仁一篇里详细地介绍了《坤舆全图》及其天文说明。尽管阮元认为这是“离经叛道，不可为训”的说明文字，李锐还是详加摘录。可能有以下三个原因：第一，李锐参加了把译书润色后的出版工作；第二，文字部分有钱大昕老师的工作，前面有阮元作的序言；第三，详细摘录以介绍表明了他的态度，他要使更多的人知道天文学上的新思想。

确实，这本书中的许多观点是中国当时极少人知道的。例如说地圆如球，天极、天赤道与地极、地球赤道相对应，以上、下两半球图表示完整的地球，地球非正球体而为椭球体，哥白尼学说，开普勒定律，卡西尼的地球测量，伽利略用望远镜看到的月球景象，木星和土星的卫星，用哥白尼学说解释行星视运动中的顺行、留和逆行，新星和彗星的区别，等等。

蒋友仁将这些天文学革命的思想带入中国后，过了几十年仍禁于宫中，后来翻译出书后，又在序言里强调“不必喜其新而宗之”。哥白尼学说受到了中国保守势力的反对而难以传播。李锐在这里详摘地球图说中的文字说明，为哥白尼学说的传播，又提供了一次机会。

阮元不仅为地球图说作序，在《畴人传》再次介绍这些新思想时，又在后面写了蒋友仁论，对哥白尼学说大加攻击，生怕新说产生影响。阮元的评论不能代表李锐的思想。李锐精于数学，对一种方便计算行星位置的理论，他是乐于接受的，故其中特别详细摘录了以太阳为中心的学说和怎样做位置计算的部分。

三、李锐在数学上的成就

李锐对天文工作中的历算偏爱是因为他擅长数学，他的数学研究是既探寻古代中国数学家的成果，也了解当时清代一些数学家对欧洲数学的介绍。他著的书，往往将古法列于前，新术附于后，以期共明于世。



在《李氏遗书纪略》中，人们说他“深于天文算术”，是“（长）江以南第一人也”。评价极高。这不仅和前面介绍的他的著作多有关系，而且也是对这些著作质量的评语。

例如《知不足斋丛书》中，他既解释天元一术与西法借根方相同，又辨出天元的相消有减无加，与借根方两边加减还是略有不同的。他不闭门著书，而是常常与同时代的数学家交流学术思想。他为焦循的著作作序，与张敦仁共著细草并研究汪莱的数学著作。汪莱的《衡斋算学》第五册，讨论了二次方程和三次方程的根是否可知。1802年，李锐研究了这本书，并发展了汪莱的观点，他把汪关于二次、三次方程正根的研究，推广到任意高次方程（见李迪《中国数学史简编》）。还把对根是否可知的判断，归纳成三条命题。

李锐的《开方说》并不限于开方内容，其中还讲述方程的理论。尤其是对根与系数间的关系，讨论颇为详尽，举出了大量的计算实例。《开方说》下卷讨论方程的内容更多，打破了过去只承认正根的局限，明确提出负根，使得讨论在实数范围内进行。他还在我国数学史上第一次提出重根的概念。从这里可以看出，李锐在数学上的成就也是不少的。

四、李锐的学术思想

通过对李锐生平和他在天文、数学上的成就的了解，一个对学问锲而不舍、孜孜以求的学者形象已经呈现出来。分析李锐的学术思想，有以下方面值得注意。

李锐勤于考据，广泛地占有资料，校勘注释。这是乾嘉学派学者们的共同特点。但他又有自己的个性，着重于研究天文历算和数学运算理论。他不发思古复古之幽情，不像一些经学家，惟古是真，哀叹“世风日降”。他研究和整理古人的东西，钦佩他们的创造，却不盲目推崇。而是在学习古人的基础上，推陈出新。这是对乾嘉学派的突破。他敢于介绍新思想，而不是畏“新”如虎。这一点和他在学术上取得成就的经验有关系。正因为他没有囿于乾嘉学派的保守思想之中，他才能取得较多成果。

他没有说过西学皆源自中国，不盲目自大，肯于学习西方先进的数学方法。但他认为欧洲三角是来源于中国勾股的，是由中国流传至西土的。

他能实事求是，用科学战胜迷信。他研究三统历，发现刘歆把一些科学的数据，披上神秘色彩，说什么“黄钟初九自乘为日法，推大衍象得月法”。就毫不客气地指出这样则“昧其本源矣”，并要后世读三统历的人，不要为其胡说唬住，而要追究这些数据的本义。这种科学态度是可贵的。



他不仅从钱大昕那里学到了知识，对老师正确的治学方法也铭记在心。钱大昕在评论江永其人时说“江曲护西法”，已“为西学所用”。他主张像梅文鼎那样去“用西学”。李锐在自己治学中，不盲目崇洋，但注意学习欧洲数学、天文知识，不轻视民族文化，而能努力继承和发展它，对一些泯灭的历法，则努力复原。

李锐是清代一个有成就的民间学者，他对我国的天文学和数学的发展作出了贡献，这些成就，人们是不会忘记的。他的一些治学态度，也是值得后人学习的。

（撰稿人：杜昇云、车一雄）



第五节　阮　元

一、涉猎天文学的经学家

阮元(1764—1849),字伯元,号云台,亦号芸台,江苏仪征人。生于乾隆二十九年,死于道光二十九年。他是清朝的一个封疆大吏,做过浙江、江西、河南的巡抚和两广、云贵的总督,直到体仁阁大学士,加太傅。他又是清代著名的经学家,编纂有《经籍纂诂》,刻了《皇清经解》,编著了《十三经注疏校勘》,代表其经学思想的是四卷《揅经室集》,总结了乾隆、嘉庆时期的汉学成就。在做浙江巡抚时,曾创立诂经精舍,进行汉学的研究和教学,由王述庵、孙渊如主讲。讲授内容有经史疑义及小学、天文、地理、算法等。不到10年,其中许多人都成为东南有名的学者。

清代自康熙开始推崇经学,乾嘉时达到极盛。这是一项有利于清廷统治的文化政策,它使知识分子陷入对封建文化的笺注、解释和对古籍的烦琐考证之中,要求他们依经为训,不可越雷池一步,从而转移人们对民族矛盾和阶级矛盾的注意力,使经学在当时的学术界占有统治地位。

经学家们对天文学比较重视,因为我国早期的星象历数,散见于《易》《书》《周礼》《诗》《礼记》《春秋》等六经中。在阮元之前的经学家戴震曾说,不研究小学、地理、算学等学问,不敢治六经。阮元进一步发展了这一观点,他在对戴震的评论中说:"九数为六艺之一,古之小学也……庶常以天文、舆地、声音、训诂数大端为治经之本。故所为步算诸书,类皆以经义润色。"既然把天文与历算当作"治经之本",作为经学家的阮玄,从多方面涉猎了天文学。



乾隆五十六年,任翰林院编修的阮元曾以《拟张衡天象赋》一文参加大考,考卷呈御览,改擢第一。随后,皇帝在乾清宫召见了他,还问了他有关书画、天文及算学等事,并把他晋升为詹事。两年后,他提督山东学政,四年后调任浙江。由此我们知道,导致阮元升官的考卷,是一篇与天文有关的作品。这是一篇描述天象的文章,他用"惟圆象之昭回,建北极以环拱,拟磨旋以西行,俨笠冒而中拥",来形容天球和天球的周日视运动现象;用"日周天步,月丽天衢,日一度而若退,月十三度而愈纡",来描述太阳的周年视运动和月亮的视运动。接着介绍了五星的运动周期、四象二十八宿以及拱极区的天象。虽无独到见解,却极讲究文辞,短短一文将日月五星及全天星象做了概括介绍。文章对于中国古代的三种宇宙学说只是并行列出,没有提出任何倾向性的看法来。通观全文,是一篇中国星象的简明介绍,反映了经学家们的天文学研究,重点是搞清楚古代天文和历算的本义,较少自己深入

研究。

阮元用“惟有道者万年，协清宁而衍庆”，结束了自己的考卷，对于刚刚度过80诞辰的乾隆来说是很中听的，因而得到了皇帝的青睐。但是如果注意到当时欧洲已经发明了望远镜，并用它做出了许多重大的发现，就能看出阮元的文章其水平早已落后于时代，对天象的认识依然停留在千年以前。

阮元对诗经《小雅·十月之交》中“十月之交，朔月辛卯，日有食之”的日食进行了考证。他认为该诗作于周幽王时代，他写道：“梁虞刿，隋张胄玄，唐傅仁钧、一行，元郭守敬并推定日食在周幽王六年……今以《后编》法上推正合，若厉王在位有十月辛卯朔日食，何自古术家无一人言及者”。可以看出，只要是历史上名家所论，他就认为不容置疑。

二、编纂《畴人传》

作为经学家涉猎天文领域，阮元并无突出建树，但是在天文学史的研究上，他却有很大的贡献，最为人们所称道的是他主编了《畴人传》一书。这部书以传记体裁，辑录了历代天文学家和数学家的生平及学术成就，在许多人物传记的后面，还写有编者的评论。在浩如烟海的古籍中，对在天文历算和数学上有贡献的人物进行了挖掘和发现，上至传说中的时代，下至清朝年间，在数千年的历史上广为搜辑，他确实称得上是一个突出的天文学史文献资料整理家。他的这一成就，使他成为清代一个著名的天文学家。

阮元在浙江巡抚任内，于嘉庆二年(1797)与李锐、周治平(两人均为阮的学生)等人商纂《畴人传》一书，第一编由阮元主编，完成于嘉庆四年(1799)，第二编是在道光二十年(1840)由罗士琳在阮元赞助下编成的，第三篇由诸可宝仿阮元体例于光绪十二年(1886)编成，第四编由黄钟俊于光绪二十四年(1898)编完。《畴人传》是一部极好的资料汇编，再现了活跃在我国各个历史时期的天文学家的风貌。这部书展现了我国天文学发展源远流长、延绵不绝的特点；叙述了历代历法演变的内容和方法；阐明了历史上天文仪器的更迭和几种宇宙观思想的兴衰；保存了各家在做天文计算上的创造，既不会使其湮灭，又便于比较研究；记录了我国天文发展历史上中外交流的情况和成果。它还以丰富的资料，扬我民族天文学之长。由于注明了文献来源，还有助于查阅原文，进一步了解详情。尤其是比较详细地汇集了清代天文学家的资料，不但概括了清代天文学的发展特点，还反映了清代中西交流中的思想斗争。以上种种，都说明编纂《畴人传》是阮元在天文学上的主要贡献，他们整理的这套资料，是研究中国天文学史的重要文献。





三、编纂《畴人传》的目的

《畴人传》一书不仅采辑了历代正史，还收集了诸儒著作甚至府志县志，工作量颇大。是什么原因使他们广览博采，完成这一工作呢？阮元在《畴人传》序中说："元早岁研经，略涉算事……虽尝旁稽载籍，博问通人，心钝事纷，义终昧焉。"治经就要明义，若天文历算其义不明，就不能顺利研读经书。为此，他"掇拾史书，荟萃群籍"，将历史上记载的天文历算及数学家和他们的方法，"甄而录之，以为列传。"以便"综算氏之大名，纪步天之正轨。质之艺林，以谂来学。"可见，阮元首先是为了研究经学的目的而编纂此书的。

分析当时的社会背景及阮元的论述，能够了解阮元的另一个目的。

我国从明末开始有西方传教士来华，早期来华的耶稣会传教士有意大利人利玛窦(1583 年来华)，他了解到天文历算在中国的重要性和中国知识分子对新知识的追求，曾多次写信到欧洲，要求派懂天文的传教士来华。果然，擅长天文学的邓玉函、罗雅谷、汤若望、南怀仁等人先后进入中国，并取得愈来愈高的官职。徐光启、李之藻等人都曾投师利玛窦，学习了欧洲天文学的计算方法。1610 年，徐光启用西法预报万历三十八年十一月朔的日食成功，推动了西学在中国的传播。崇祯二年，钦命徐光启并聘耶稣会士邓玉函、罗雅谷和汤若望等制历，经五年写成一百三十七卷的《崇祯历书》。1644 年汤若望将此书删改压缩，更名为《西洋新法历书》献给清政府，得到钦天监监正的官职，并依《新法历书》编印了民用历书《时宪历》。从此，欧洲传教士常被聘为清朝钦天监的官员。

面对这种形势，阮元感到汉学受到了威协。他质问道：如果承认"西学非中土所能及"，难道"我大清亿万年颁朔之法必当问之于欧罗巴乎？"他认为"此必不然也。"号召"精算之士，当知所自立矣。"他叹息我国传统的天文方法正在被丢弃，在《畴人传・序》中叹息当时"世风递降，末学支离。九九之术俗儒鄙不之讲。而履观台，领司天者，皆株守旧闻，罔知法意。演撰算造之家，徒换易子母，费凭圭表为合，验天失之弥远，步算之道由是日衰。台官之选，因而愈轻，六艺道湮，良可嗟叹！"面对中国传统历算的衰落和欧洲方法的传播，为了使中国传统方法能够自立，他将我国两千多年来经过 70 余次改革的历法沿革，熔铸于《畴人传》之中，他说：这些历法"虽疏密殊途，而各有特识，法数具存，皆足以为将来典要。"为了激起后来人的"向慕之心"，并能从人物传记中切实受益，他举出郭守敬为榜样，说如像他那样"能遍通古今推步之法，亲验七政运行之故，精益求精，期于至当，则其造诣当必有出西人之上者。"可见阮元为这些天文学家立传，是要推动对中国传统天文历算方法的学习和研究，促进我国学者早日自立，以与西学抗衡。这就是他编纂《畴人传》的第二



个目的。

四、从阮元对畴人的评论看他的学术思想

1. 对天文科学的态度

阮元认为天文学是很实际的学问。他说:"术数之妙,穷幽极微,足以纲纪群伦,经纬天地。乃儒流实事求是之学,非方技苟且干禄之具。"所谓儒流的实事求是强调的"是"是要符合古训。阮元极为信仰两汉训诂,认为汉儒的学问尚未糅杂两晋以后的傅会。他曾说:"两汉经学所以当尊行者,为其道去圣贤最近……后人不能以己之文字,饰而改之。"按照经学家们的实事求是,即使一种应该肯定的符合客观规律的观点,只要不合古训,也会遭到否定。沈括曾大胆提出一种永不置闰月的阳历,这本是一个很有价值的建议。但阮元却斥之为:"与羲和置闰之旧显相违戾","不合经义"。

中国古代天文学原分为两派,一派为天文家,如《周礼》之保章氏,他们观测恒星流彗等各种天象的变化,并用以占验;另一派为历家,如《周礼》之冯相氏,他们推步日月五星的运动,推算历法。《史记》将《历书》与《天官书》分为二书,开辟了各朝分别记录的先例。不过阮元对两家的态度极为鲜明,推重历家,忽视天文家。在《畴人传》里,很少录天象观测家、星占家和图纬家。他在凡例中写道:本书"专取步算一家,其以妖星、晕珥、云气、虹霓占验凶吉及太一壬遁,卦气风角之流涉于内学者,一概不收。"说他们"率多错谬"。"河图洛书之数,传者非真……言者无据。"即使是收入集中的畴人,也是有选择地辑录他们的事迹,与星占有关的内容,就删去不收。他举例说:"新唐书载,李淳风逆知武氏之乱,宋史载刘羲叟预知辽主之亡,此类当是侍者之过……适足起无识者无穷之惑。"



阮元的选择反映了他实事求是的一面,他把天文学看作科学,反对反科学的星占说,这是正确的。但是,阮元对天文科学的认识存在着片面性,古代科学往往与迷信纠缠在一起,我国古代天文家的天象观测有着重要的科学价值。虽然一部传记注重于收集历家无可非议,但是若能对天象观测家及其成就给予合适评价,定会使该书更为增色。

阮元反对星占说有政治上的原因。清代为巩固其民族压迫和封建统治的地位,害怕人们借用星占反清,故于乾隆三十五年明令禁止宗室王公容留僧道和星相人。作为清廷的高级官吏,他自然要回避星占之类的牵连。

总之,阮元一方面以科学的态度对待天文学,另一方面又有惟古是真的错误观点。

2. 阮元对明清以前中国天文学的看法

阮元认为,我国天文学源远流长,远在传说中的黄帝时代就制定了历法。说



"黄帝迎日推策而步术兴焉","观帝尧之命羲和,知千古步算之纲要定于陶唐之世矣"。

他认为制历之事非常重要,其工作十分崇高。他说:"敬天授时,帝王之首务,故圣人重其事……至于以闰定时,尤非圣人不能作。"

他对两汉以前和两汉时期的天文历法给予极高的评价,引用崔瑗撰张衡碑文"数术穷天地,制作侔造化"来赞誉。认为黄帝、颛顼、夏、殷、周、鲁等"古之六术,并同四分。"它们的平均历年长度均为 365.25 日。据他考证,司马迁未记太初历术,然而太初历的"日法、月法与三统同"。他高度评价《三统历》,说该历"世纪所载……必真古文,足有裨经学"。对于后汉刘洪制定的《乾象历》,因其发现月行有迟疾,黄白交角 5 度有奇,"为功步算大矣",并用郑康成"穷幽极微"誉之。

两汉之后,阮元认为"代有增修,益求密合",隋唐至元都有杰出成就,惟宋代无所作为。他说:"赵歐元始术,祖冲之术破章法立岁差,张胄玄大业术、刘焯皇极术之日行盈缩交道表里五星迟疾,李淳风麟德术之废章蔀纪元而用总法,杨忠辅统天术、郭守敬授时术之立岁实消长,而不用积年日法……其精神实有不可磨灭之处。""自宋以来,数学衰歇,是书遂亡。造微之术,终于不传。"并对宋代著名天文学家沈括斥责贬低。这些与他重汉轻宋的思想有关。

3. 阮元对明清天文学的评价

为加强封建统治,压制天文历术,整个明代使用的《大统历》,实际上是沿用元代郭守敬制定的《授时历》,所以明代是中国历史上天文发展的低潮。对此,阮元曾有许多评论,他说:"天文算术之学,吾中土讲明而切究者代不乏人,自明季空谈性命,不务实学而此业遂微,疏阔弥甚。""立天无术,算氏至精之诣也,明季数学名家,乃不省为何语。"他讥讽明朝推崇理学,不务实学,以至连数学家见了数学概念竟不知所云为何。究其原因,阮元说是因为"明代算学陵替,习之者鲜。"实际上明朝严禁民间私习天文及历算,违者重处,数学与历算的发展必然受到严重影响。



更为有趣的是明代从南京迁都北京后,天文仪器也迁至北京。北京与南京相比,北天极高出 7 度还多。官员彭德清建议修改,皇帝却不予理睬。阮元讥讽道:"德清奏改用顺天之率是也,景帝未审厥故,复用应天旧法,当时日官不能执争,其推步之疏亦可见矣。"

阮元对明代天文学的评论有不够全面的地方,主要是否定太多。例如邢云路曾推得更为精确的回归年数值(365.242190 日),提出行星运动受太阳牵引的思想,批判了汉儒在日食月食上的天人感应谬论,这些都是比较出色的成绩,而阮元也斥之为"一无心得",还把人家的著作说成是"欺世之具",这就太过分了。

作为清政府的高级官吏,阮元把清代的天文工作捧得很高,并竭力称赞康熙。

他说："推步之法由疏渐密，至国朝而大备。我圣祖仁皇帝，圣学生知，聪明天纵，御制《数理精蕴》，契合道原，范围乾象，以故天下勤学之士蒸然向化。"并用"至精至密"来赞誉当时的《时宪历》。他还写道："我圣祖仁皇帝《御定考成》上下编，集古今之大成，录中西之要术，固已立万年步算之准，定百世增修之法矣。载高宗纯皇帝……《御定考成后编》，复推阐无余……盖自生民以来，未有如本朝之得天者。"

其实阮元的评论也夸得过了头。《历象考成》虽有进步，但其天文数据采自第谷，是第谷对哥白尼和托勒密学说的折衷体系，并不先进。《历象考成续编》虽然用了椭圆运动定律和面积定律，却是以地心体系来计算的，是传教士们怕哥白尼学说在中国传播，改头换面的产物，实际上违反天体运动的本来面目。

4. 阮元眼中的欧洲天文学

明末以来进入中国的耶稣会传教士，带来了欧洲天文学的知识，他们为了维护宗教的利益，阉割了欧洲天文学革命的内容，仅介绍比较落后的地心体系和第谷的折衷体系。加之明清两代均未派人去西方学习和考察，所以他们对欧洲天文学的了解，仅限于传教士们介绍过来的知识。阮元就是从这些知识中归纳出自己对西学的看法的，主要的观点有：

(1)西学可疑论。只要有机会，阮元就提出他对欧洲天文学的怀疑。他抓住传教士们有的说伊巴谷是周显王时人(前 4 世纪中)，有的说是汉武帝时人(前 128)，就说："安知不皆乌有子虚之类耶。"这句话并不仅针对伊巴谷，也包含着对西方古代天文学的怀疑。对于托勒密已有比较准确的计算天体位置的方法，他说这是"汤若望辈夸大其词以眩吾中国"，并斥徐光启等人"受其欺而不之悟"。

(2)西学不可取论。阮元极为保守，信守惟古是真，对于新鲜观点是坚决反对的。对于西学中本轮、均轮的说法，若以计算方法论，他尚能接受，对于哥白尼认为天体循一定轨道绕日运行，他绝对不能接受。认为这些学说愈出愈奇，不足为取。他说："自欧罗巴向化远来，译其步天之术，于是有本轮、均轮、次轮之算，此盖假设形象，以明均数之加减而已……乃未几而向所谓诸轮者，又易为椭圆面积之术，且以为地球动而太阳静。"这个说法使得"上下易位，动静倒置"，"则离经叛道，不可为训。固未有若是甚焉者也。第谷至今才百余年，而其法屡变如此，自是而后，必更有于此数端之外，逞其私知，创为悠谬之论者。"可见"自椭圆地动之说起，乃愈出而愈奇矣"。

(3)西学东源论。阮元认为西学"实窃取于中国"，不应当只"见西术之精而薄视中法"。前说完全否定外国科学也有自己的渊源是错误的，后说鼓励发扬民族文化则是正确的。

为了证明他的西学东源论，他举了许多例子，如"地圆之说，本乎曾子，九重之





论，见于楚辞”，“西洋人以地球经纬求里差，谓中法之未有，岂知我三古时已有其术哉”，“以勾股量天，始见于周髀……欧罗巴测天专恃三角八线……殊不知原自中国，流传西土”，“西人言日月五星各居一天……意其说或出于宣夜兴?”“西人言蒙气差能升卑为高，映小为大，与(姜)岌所称正合……不待第谷而后始明其理也。”谈到欧洲历法，他有时说：“九执术，今西法之所出也”，有时又说：“西洋新法袭回回术，其云测定，乃欺人耳。”

由于阮元对欧洲天文学有偏见，对欧洲天文学的历史与现状又缺乏了解，许多事实无法详考，形成了他的西学东源论。事实上他举的例子有些也不甚恰当，例如蒙气差改正值虽经第谷于16世纪测定，但这一现象在公元前2世纪希腊的波西东尼乌斯就发现了，而姜岌的论述在公元4世纪。

阮元的西学东源论也是对明清以来一些学者过分夸赞西学而诋毁中学的一种反击。徐光启就认为中国历算与西法相比，“何工拙可较论哉”！所以阮元在介绍了历代历算名家以后说：“学者苟能综二千年来相传之步算诸书，一一取而研究之，则知吾中土之法之精微深妙，有非西人所能及者。”

从阮元对欧洲天文学的看法可知，他作为经学家，保守、复古，从这一立场出发，一定会成为哥白尼学说的反对派；他有发扬民族文化的良好愿望，但作为封疆大吏，他支持清政府闭关锁国的鸵鸟政策，以中土大国自居，盲目自大。虽然因实际需要而利用外国传教士，但又看不起他们，阮元就称欧罗巴是“极西之小国也”，因而也谈不上向外国学习先进的科学，可见阮元从本质上是排外的。

五、阮元的治学态度

1. 主张考据训诂，追根溯源



阮元在《畴人传》凡例中提出，对历算要“考求修改原流沿革条目”。梅文鼎被他尊为国朝算学第一，他在称赞梅氏时说：“其学由授时以溯三统、四分以来诸家之术，博考九执回回而归于新法，一一洞见本原，深澈底蕴。”这些都反映了他考据训诂的治学态度。

2. 重视天文仪器制造

阮元认为实测与计算虽然“区分为二，然事实一贯，不容歧视……算造根本，当凭实测，实测所资，首重仪表。”他举出“自三统以来为术者七十余家莫之伦比”的天文学家郭守敬为例，认为他之所以成功，在于掌握“推步之要，测与算二者而已。简仪、仰仪、景符、窥玑之制，前此言测候者未之及也……先之以精测，继之以密算，上考下求，若应准绳，施行于世，垂四百年。”这个主张是完全正确的。他的这一态度，使他在仪器上颇为尊重西学，他说过“远镜能令人目见不能见之物，其为用甚博，而

以测验七曜为尤密，做此器者于视学深矣。”

3. 反对迷信外国

阮元反对迷信外国，对外国的成果，不主张全盘照搬，而主张取其精华，去其糟粕。提倡中国学者开展自己的研究。他的这一思想明显地反映在他对学过西学的天文学家的评论中。例如他说王锡阐“贯通中西之术而又频年实测，得之目验。”所以他对汤若望、罗雅谷所著的新法诸书，“能取其精华而去其糟粕”；而薛风祚“谨守穆尼阁成法，依数推衍，随人步趋”，故“未能有深得也”。他还称赞王锡阐由于能有“考正古法之误而存其是，择取西说之长而去其短”的治学方法，所以“为术深妙”。

阮元对徐光启称利玛窦为“今日之羲和”很反感，他说：“但可云明之算家不如泰西，不得云古人皆不如泰西也。”他深信，在我们这个“六艺昌明”，有着天文学传统的国家里，只要能“尽得西法之长”，又能继承“三统、四分以来诸家之术”，一定会有“非西人所能及者”。这些看法，反映了阮元的爱国思想。他所称赞的治学思想是正确的。

4. 因守旧而主张不求甚解

阮元有“天道渊薮，非人力所能窥测”的落后观点，又有惟古是真的倒退思想，因此，他有些治学思想极为错误。

阮元认为“后世造术密于前代者，盖集合古人之长而为之，非后人之知能出古人上也。”这种颂古贬今的治学态度会使人自丧其志。

阮元主张对行星顺行、逆行和留的现象不必追究其原因，“但言其当然，而不言其所以然者之终古无弊哉。”主张不求甚解，不知其所以然，以维护经学的权威。这一治学态度，明显地反映了阮元守旧的思想。



阮元是一个有一定成就的天文学家。限于他的政治地位和时代烙印，他有一些错误的认识。分析阮元在天文学上的认识及其成就，对于我们了解清代天文学是有益的。由于阮元在清代有相当的影响，有必要对阮元做一些深入的研究。

（撰稿人：杜昇云）

第六节　汪曰桢

一、生平简介

汪曰桢(1812—1881)，字刚木，号谢城，又号薪甫。浙江省乌程县(今吴兴)人。清咸丰二年(1852)举人。同治年间左宗棠任浙江巡抚时，雅重其才，要他出来做



官，被婉言谢绝。[①] 晚年担任会稽（今绍兴）县学教谕。终于官。享年69岁。

汪曰桢父亲生平不详。母亲赵棻（1788－1856），生于名门闺秀。其祖父赵文哲（1725－1773）从征金川殉职，恤赠光禄寺少卿，著《媕雅堂诗话》。其父赵秉冲，历官户部右侍郎、南书房行走[②]。赵棻从小生活在书香门第[③]，受到很好的文化教育，娴熟古史、文字和诗词。著有《滤月轩集》。20岁时（1808）嫁到汪家，初居浙江吴兴潮音桥。1819年，移居东数十里的南浔镇。嫁到汪家以后，仍从事古文辞的研究工作。年轻的汪曰桢就是在这样的环境下成长起来的。

汪曰桢从小在母亲的长期熏陶和教育下，精史学和算学，医学、音韵、诗词无所不通，尤其擅长于历法推步。其著作甚博，在天文学方面有《二十四史月日考》、《古今推步诸术考》、《甲子纪元表》、《疑年表》、《太岁超辰表》等；数学著作有《如积引蒙八卷》（未刊）；音韵方面的著作有《四声切音表补正》；诗词方面的著作有《玉鉴堂诗集》等；地方志方面有《乌程县志》和《南浔镇志》；医药著作有《温热经纬》（书评）等；其汇编的著作有《荔墙丛刻》、《式训堂丛书》、《校经山房丛书》等。

《南浔镇志》是他在19世纪50年代所做的工作，这时他正在壮年，刚中举人不久，精力充沛。刘函干在《玉鉴堂诗集·后跋》中说他"著《南浔镇志》，网罗遗籍至二千五百余册。"《乌程县志》则是他去世前所做的最后一项重要工作。乌程是他家祖籍所在，而南浔则是他自少年以后长期生活的地方，所以他才着力编写这两个地方志。汪曰桢所写诗词特别丰富，刘函干说他"尤善为诗，而不暇自订。予得其丛稿，为编次之。"汪曰桢主要兴趣和功力全都集中在做学问方面，填词写诗，仅是他的一种消遣。天文学家李善兰是他的好友，他们之间的书信往来，常常利用诗词的形式。

在汪曰桢的学术研究工作中，尤以历算工作用力最多，所取得的成就也最大。他精通史学，又擅长于历算，这些特长为他开展今后的工作打下了良好的基础。研究并推算历代长术，是他早在年轻时就立下的志愿。这个志愿，受到他母亲的积极支持。赵棻在《二十四史月日考序目》中谈及做这项工作的目的时说：



> 读史而及于月日干支，小事也，然亦难事也。欲知月日，必求朔闰；欲求朔闰，必明推步。盖其事甚小，为之则难。不知推步者欲为之而不能为；知推步者能为之而不屑为也。儿子曰桢性好史学，又喜习算，尝有志于此。

汪曰桢自己则说：

---

① 《玉鉴堂诗集·后跋》。

② 见《滤月轩集·序》，收入《荔墙丛刻》。

③ 故居北京虎坊桥。

史学所以资治，其本在深察夫兴衰治忽之大端。徒考覈于典章名物，已为末务；月日干支，抑末之末也。虽然月日淆乱则事迹之先后不明，而兴衰治忽之故，将欲察而无由矣。吾之为此固种艺烹任之事，乃正所以为饱食之资，特将使人得以专求饱食之逸，而不必先事乎种艺烹饪之劳焉耳。是则吾识其小而人得识其大，吾任其难而人将任其易。虽不足称史学，而于学史之人则似不无小补矣。

他一旦选定目标，就开始工作，“持筹握管，挑灯挥汗，不胜其劳。”原计划用20年的时间，做完这件事情。后来由于其他杂务的牵扯，他从24岁开始做起，至50岁时才初步完成。之后又以1年的时间进行压缩整理，至55岁时(同治六年)才得以出版。至此已30余年。他三十年如一日，勤勤恳恳，持之以恒，“吾识其小而人得识其大”的献身精神，是值得人们学习的。也正因为有这种精神，才能取得较大的成就。

《二十四史月日考》是唯一的一部贯通古今的，经过系统推算的朔闰表，这项工作后来为陈垣和薛仲三、欧阳颐所继承，发展成为《中西回史日历》和《二千年中西历日对照表》，成为史学工作者必备的工具书。

诸可宝在《畴人传三编》中评论汪曰桢的工作时说：

从未有互证旁通、殚精毕虑、贯穿全史为一编，如汪教谕之作者。案其搜采罗书逾数百部，致力凡三十年，可谓博且劳矣。使读史者举二千五百余年之月日釐然具见，治历者合百四十六家之用数，悉有钩稽，其津逮后学为何如耶？昔梅勿庵氏有言，“一生勤苦皆为人用”者，教谕之谓欤。

“一生勤苦皆为人用”，可算是对于汪曰桢30年勤奋工作成果的确切评价。



二、《二十四史月日考》和《历代长术辑要》

《二十四史月日考》完成于同治元年。该书从西周共和元年至清康熙九年，与清朝颁行的万年书相接，共载二千五百余年之节气历日。其格式就如清代颁行的万年历。每年详列朔闰和月建大小，并载二十四节气月日干支。写定为五十卷，外加《古今推步诸术考》二卷和《甲子纪元表》一卷，合计五十三卷。因篇幅过大，未能及时得到出版。同治五年，采纳朋友莫子偲的意见，删繁就简，仿照《资治通鉴目录》的形式，专载朔闰，后朔与前朔同干者不记，这就省去大量篇幅，压缩成十卷。《古今推步诸术考》二卷仍附其后，取名为《历代长术辑要》。这就是后世通行的版本。

《历代长术辑要》每年首列干支纪年和帝王纪年，这样查找起来很方便。它的纪年形式，大致继承了《通鉴目录》的传统。但《通鉴目录》用太岁纪年的异名纪年，



很不便于一般人所应用，他做了删改，是理所当然的。干支纪年本来仅起自东汉，在本表中则上推至周共和元年，同时并利用刘歆太岁超辰纪年法，逢超辰之年必记太岁超辰干支。

《历代长术辑要》是依据文献记录，依法推步的。如无文献交待改正朔、闰事宜，则不轻易加以改变。汪曰桢曾经广采史书中所载史日干支，与本表进行校核，凡出现不合之处，均记于每年朔闰之后，以资参考。

中国历法的置闰，都以无中气置闰为原则。本表在逢闰之年都载明闰月，并在其后附载其前后节气和中气的日期，以便于人们推校。凡发现史书中有与所推闰月不合者，也多附载于后。

《刘氏辑术》起自西汉初年，终于五代末年，凡1100余年。后钱大昕撰《宋辽金元四史朔闰考》，计划补撰《刘氏辑术》以后的部分，惜未最后完稿而去世。由其侄钱侗续完，推算出近400年的朔闰表[1]。刘羲叟的推步原则不得而知，因而也难以评论和检验其正确与否。汪曰桢的《长术辑要》除重新依术推步以往二家所作朔闰以外，还增补西周共和元年至秦末和明初至清初的朔闰表，其推步的年代比刘、钱二家的长术又增加了1000年。

《长术辑要》不但载自家所推的历年朔闰，而且与史载干支和前人推算的历表相比较，以资读者参考。春秋时代除载依周历和鲁历推步的朔闰外，还特别引载杜预的《春秋长历》。《长术辑要》除参考《刘氏辑术》和《四史朔闰考》外，还大量引用有系统朔闰表及有丰富朔闰干支的文献，如《续资治通鉴长编》《续资治通鉴》《外纪目录》《建炎以来系年要录》《续宋编年通鉴》《辽史·历象志朔闰考》《十朝纲要》《明实录》《国榷》等书，凡出现异同的地方均并载之。

清初沿用《大统历》，入关以后改用《时宪历》。因康熙初年有一度复用《大统历》的变化，故《长术辑要》编到康熙九年复用《时宪历》为止。康熙九年以后有现成的《万年历》可以查阅，故略而不载。



中国古代所留下的历史文献十分丰富，每个时期的历史事件大都有发生月日的记载，记法有两种，一种是记年、月和日的干支，一种是记年月日。这两种记载月日的方法都需借助于朔闰表的帮助。阮元在《畴人传》中说："史家编年之体，以日系月，例书甲子。然不知其朔，则甲子为可删。"不知朔日干支，则记月日干支等于无用，是无法得知某月某干支为几日的。《长术辑要》就是专门帮助历史学家解决这个问题的。历史文献中虽然明载月数和日数，但是仍然离不开《长术辑要》。要想得知两个历史事件相距的确切日数，也非查朔闰表不可。近代国际通用公历，中

① 《潜研堂文集》。

国发生的历史事件大都要以公历年月日来表示，其工具书《中西回史历日》或《两千年中西历日对照表》也都需借助于《长术辑要》，才能制定出来。因此，汪曰桢《历代长术辑要》对于史学研究所作出的贡献是巨大的。《长术辑要》出版以后，就再无人做过系统推算，仅有人研究过断代的朔闰表。像陈垣所作《二十四史朔闰表》等，均不知推步，仅在《长术辑要》的基础上，以历史文献考校而已。

三、《古今推步诸术考》

《古今推步诸术考》二卷，虽然独立成篇，但实际与《二十四史月日考》是不可分割的。它是推步的方法和依据。

汪曰桢曾经遍考史志，广泛地收集到我国自古以来曾经编制、行用或发生过影响的历法共146部。它是系统地收集中国古代历法最齐全的一部著作。分别载入朝代、作者、历法名称、法数、出处、行用年代、后人对它的研究、作者的简短评价及推步措施等诸项内容。各个历法所做出的重大创造发明和变革都做出了明确的交待。简明扼要而又提纲挈领，它实际是一部中国古代历法史。

其所载基本法数是为了适应推算朔闰表的需要，主要包括积年、日法、岁实、朔策4项。有的还包括周天分、虚分(求岁差用)、秒母(分以下的单位)等项。对于前期的历法，往往还包括章岁、章月(即闰周)等项。在有的历法中，日法又分为朔日法、气日法和度法。《长术辑要》中2500年间的朔闰数值，就是利用这些基本数据推算出来的。

《畴人传》和《四部备要书目提要》均称汪曰桢的推步工作“精深博大”，是因为要掌握中国古代所有历法的推步方法，考订其行用起迄年代等，是一件非常不容易的事。《古今推步诸术考》不仅汇集了中国古今所有历法的基本法数，而且列出了一份各个朝代行用历法的简明表，令人一目了然。



中国古代的历史文献虽然十分丰富，但由于历史悠久，随着时代的推移，许多历法文献也随之湮没。许多有关历法著作的述评和记载，难免有错误和互相矛盾的地方，《古今推步诸术考》对此详加考辨，纠正了许多错谬的记载，其中包括古人附会之说、历法数据的错误、行用年代的错误等等。例如，它纠正了《刘氏辑术》以《史记·历书》所载甲寅元历来推算汉太初以后历谱的错误，正确地指出太初以后行用邓平的八十一分历，也指出了《太初历》与《三统历》的关系。由此可见一斑。

如此巨大而繁复的工作，不可能不存在缺点和错误。例如，《古今推步诸术考》仍然采用《刘氏辑术》的意见，推算汉初历法时，殷历和颛顼历两存之。明知与史日干支大量不符，但仍然没有找出一个有效的解决办法。直至解放后山东临沂元光历谱汉简出土，才证实汉初行颛顼历，用借半日法。至此秦及汉初朔闰表才得到令



人满意的结果。[①]

秦以前行用何种历法？缺少可靠的文献记载，故《刘氏辑术》只从汉初开始。但先秦史书中尚有许多干支日名的记载，由于史学工作的需要，《长术辑要》仍以周历推算出周共和以来的历谱，并将颛顼历上推至秦惠王始称王之年，春秋时代则附以杜预的春秋长历。虽然并不可靠，但在史学界则是很受欢迎的。

四、《甲子纪元表》《疑年表》和《太岁超辰表》

在《校经山房丛书》中，载有"《疑年表》一卷，《推策小识》十七"；还载有"《太岁超辰表》三卷，《推策小识》十八至二十"；又《长术辑要·序目》后附载"《推策小识》三十六卷"一句。《推策小识》与其他篇名的关系尚不清楚，疑《推策小识》是原定的总篇名，应包括《二十四史月日考》、《古今推步诸术考》、《甲子纪元表》、《疑年表》和《太岁超辰表》在内。

《甲子纪元表》一卷，现已散失。古代帝王纪年比较混乱，需与甲子纪年配合起来进行考订，才能完全弄清楚。它是排定历谱时首先要解决的问题。故在推步前首先考订，独成一卷。由于甲子纪元已排在《长术辑要》之中，故此卷可略而不载。从《长术辑要》可以推知，《甲子纪元表》是上起周共和元年，下至清代连为一体的。帝王纪年与甲子纪年是互相配合的，由此也能纠正古代纪年上的混乱和差错。

西周共和以前的年代是很不清楚的，虽然如此，汪曰桢也把它当作推步工作中的一项任务来完成。由于没有确切可靠的文献记载，众说不一，所以汪曰桢把它称之为《疑年表》。

汪曰桢在阐述编排《疑年表》的目的和意义时说：

> 史公年表起自共和，厉王以前无可考矣。皇甫谧《帝王世纪》，古帝王皆有年数。《竹书纪年》亦出于晋世，盖汉魏时无此说也。今本纪年又经后人改窜，其原本夏年多殷者，不复可见，而世纪已佚，诸家所引一鳞片甲，不能排比矣。惟《皇极经世》《通鉴外纪》《路史》等书，按年可排，而互相纷错。虽其说皆不足信，学者要亦不可不知也。因汇录为表，并附以他书之说，从《通鉴前编》以来多从《经世编年》，据此表观之，可得其参差抵牾之迹，名曰《疑年》者，本诸《外纪》也。

虽不足信，但不可不知。因汇集众说，供史家应用。此为本篇的宗旨。它自伏羲女娲以来，到周共和止，共五十甲子，约近 3000 年。因有汇集各家之说的资料，它对于研究上古远古史也是有参考价值的。编制《太岁超辰法》的目的也在于研究



① 见《中国天文学史文集》第一集中有关元光历谱的研究论文。

远古上古的历史纪年。它依据《三统历》太岁与岁星恒相应，每 144 年而超一次的规定，排出自东汉以前 1000 余年的太岁纪年表。并依据钱大昕的观点，太岁、太阴非一物，恒差两辰，并附以太岁超辰表。

（撰稿人：陈久金）

第七节　李善兰

一、生平简介

李善兰(1811—1882)，字壬叔，号秋纫，生于浙江海宁县硖石镇。清末数学家、天文学家，尤擅长数学，是我国高等数学和近代数学的奠基人。本节从天文学角度出发，仅叙他在天文学上的工作。

李善兰自幼喜欢数学。据他自己回忆，"善兰年十龄，读书家塾，架上有古九章，窃取阅之，以为可不学而能，从此遂好算。"[①]小时候，他基本上依靠自学增长知识。"善兰年十五时，读旧译《几何原本》六卷，通其义。"[②]1845 年，"汪君谢城(即汪曰桢)以手钞元朱世杰《四元玉鉴》三卷见示……深思七昼夜，尽通其法。"这是他在为自己写的《四元解》的序言中所说。这段时间，通过自学写了不少学习心得方面的著作，学问自觉渐有所进。在《天算或问》卷一里他说："善兰自束发学算，三十后所造渐深。"大体可以把 1852 年以前这段时间算做第一阶段，是自学论著阶段，其著作有《方圆阐幽》《弧矢启秘》《对数探原》《四元解》《麟德术解》等。



图 8—17　李善兰像

1852 年至 1859 年算做第二阶段。他来到上海，认识了许多中国学者和欧洲传教士，眼界开阔，知道了不少欧洲科学知识，遂同传教士一起翻译介绍西方近代科学著作。首先是《几何原本》后九卷、《重学》十七卷、附《圆锥曲线说》三卷。后又译《谈天》十八倦、《代数学》十三卷、《代微积拾级》十八卷、《植物学》八卷。并计划译牛顿的《自然哲学的数学原理》，初译了一小部分而中止。李善兰同传教士共译这些书，给中国读者介绍了许多新知识，创译了许多科学

① 《则古昔斋算学》自序，1867 年。

② 《几何原本》后九卷序，1857 年。



名词，有许多沿用至今并传到日本等国。由于这一批中译本的问世，有效地促进了我国近代科学发展的进程。

李善兰一生的第三阶段从 1860 年起到 1868 年止。这一时期在学术上是他深入研究、会通中西的创造阶段，在个人经历上是他从民间学者走上仕途的阶段。1860 年起，他先后在苏州和安庆充任徐有壬和曾国藩之幕宾，筹集资金出版自己的学术著作，终于在 1867 年刻成《则古昔斋算学》十三种。其中既包括早年自学时的多种著作，又包括新近研究的《垛积比类》四卷、《椭圆正术解》二卷、《椭圆新术》一卷、《椭圆拾遗》三卷、《火器真诀》《尖锥变法解》《级数回求》《天算或问》。这里他将微积分方法用于早年的尖锥术，创建了"李善兰恒等式"，开创了我国的高等数学研究。

最后一个阶段是 1869 年以后，他奉召入京，担任京师同文馆天文数学总教习。十几年如一日，口授指画，辛勤教育了百余名学生；同时利用教学之际进一步研究数学问题，其中以 1872 年完成的《考数根法》最为突出，这是中国学者关于数论的首篇论文。所谓数根就是现代数学名词中的素数。这一阶段他居住在北京，1874 年曾患风痹，行走不便，仍手不释卷，从事研究。著《级数勾股》二卷，又披阅同文馆诸学生的文章，成《同文馆算学课艺》四卷。1882 年初卒于京。其墓在浙江省海盐县。1982 年李善兰逝世百周年之际，中国科学技术史学会曾在浙江举行纪念会，据海宁县政协介绍，李善兰在硖石镇的旧居已于 20 世纪初毁于火，其墓亦已不存。他的著作除已刊行的以外，尚有未完成的若干种及古诗百余首。

李善兰的一生成绩卓著，硕果累累。虽然他的学术贡献主要在数学方面，但由于他的才华和智慧延及其他学科领域，力学、运动学、植物学、天文学都由于他的贡献而在中国打下了发展的基础。



二、李善兰以前中国天文学的状况

分析李善兰在我国天文学史上的地位，将他生前和其后中国天文学的情况做一个比较将是有益的。

在明朝末年以前的漫长岁月中，中国古典天文学得到了充分的发展，取得了伟大的成就，自不待言。明末以后，中国古典天文学发展缓慢，外国天文学知识开始大量传入我国，但直到李善兰之前，传入的外国天文知识是有局限性的。

在李善兰之前，中国人接触到的西方天文学知识大体上有：

托勒密的九重天思想(《崇祯历书》)

地为球形的概念(《崇祯历书》)

周日视差、蒙气差现象(《崇祯历书》)

本轮均轮系统

黄道坐标系(《崇祯历书》)

星盘及其构造(《浑盖通宪图说》)

第谷宇宙体系(《崇祯历书》,《历象考成》)

圆周 360°,一日 96 刻,60 进位制(《仪象考成》)

南极星空,星等概念(赤道南北两总星图,《灵台仪象志》)

望远镜及月面景象,金星位相,木卫等(《远镜说》)

日月地三者距离大小比例(《物理小识》)

地心椭圆面积定律(《历象考成后编》)

后来,虽有望远镜、太阳系仪、《坤舆全图》等传入,但限于宫廷内部,未能流传民间发挥其科学作用。

欧洲近代天文学的兴起如果以科学太阳系概念和采用望远镜观测为其标志的话,那中国天文学在传教士的影响之下,李善兰以前尚未走上这一道路。下列事实是一个极好的例证:在明末到李善兰之前的 200 多年中,中国天文学史上有代表性的事件有:《崇祯历书》《历象考成》《仪象考成》及其续编的编纂,清代观象台上 8 件天文仪器的铸造,这些书籍和仪器反映了当时中国天文学的状态。

在上述书籍中,第谷体系是其理论基础,这一体系是日心说和地心说激烈斗争中出现的折衷体系,它在欧洲没有什么地位和影响,却在中国占据统治地位一二百年之久,这在整个世界天文学史上是一个奇怪的情况。可以看出这是耶稣会的本质在起作用,这只能给中国古代天文学走向近代化带来混乱。当然,应该提到传教士也带来了哥白尼的著作,在《崇祯历书》中基本上译出了其中的 8 章,但这都是从计算方法的角度来叙述的,且将哥白尼的日心体系改成了第谷体系。更应注意的是,传教士对哥白尼学说的介绍只是将它作为一种假想的设计,而将哥白尼同托勒密、阿尔芳索(13 世纪)、第谷(16 世纪)等人并列,作为四大天文学家,从传教士的介绍中,"中国人民只知道哥白尼是一位精于观测的天文学家,却不知道他提出了一个革命性的学说,这个学说正在欧洲掀起巨大的变化。"[①]



清代的 8 件大型天文仪器,铸造于 1673 年至 1744 年间,都属于古典仪器类型,没有望远镜装置。差不多与此同时,英国建造了格林尼治天文台(1675),法国建造了巴黎天文台(1671),牛顿发明了反射望远镜(1668),与望远镜配套的测微器(1638)和消色差物镜(1733)均在此时发明出来……这一切在东方的中国似乎全无所知。清代铸造的仪器仅在制造、安装、刻度、结构上比过去的古典仪器有进步之

① 席泽宗等:《日心地动说在中国》,《中国科学》,1973 年,第 273 页。



处，没有向近代天文技术跨出实质性的步伐。

这两个方面的情况充分说明了当时中国天文学仍徘徊在向近代天文学转化的准备阶段中，这一段漫长的过程要到李善兰和伟烈亚力合译的《谈天》一书出版之后才开始转变。

三、《谈天》向中国介绍了近代天文学全貌

《谈天》的英文原著为《天文学纲要》(Outlines of Astronomy)，约翰·赫歇耳著(John Herschel)。李善兰和伟烈亚力选择该书是很确当的。

《天文学纲要》写于1849年，出版于1851年，正当哥白尼的《天体运行论》发表300周年之际。它是这300年来日心学说取得节节胜利的科学总结。由于理论武器的解决，牛顿建立了万有引力定律，经典天体力学建立起来；由于技术的进步，望远镜和观测技术的提高，天体测量学迅速得到发展，恒星自行、光行差、视差的先后发现，确证了地球绕日运动，1802年双星绕转的发现又确证了引力定律是宇宙间的普遍规律，星团星云的发现使天文学家从太阳系开始更遥远的宇宙空间探索。作者约翰·赫歇耳是站在天文学发展前沿的天文学家之一，赫歇耳家族的威望和该书的内容，使它一出版就在欧洲产生了巨大的影响。

在哥白尼的《天体运行论》和《天文学纲要》之间虽有不少天文学名著，如伽利略的对话，牛顿的原理，康德的宇宙发展论，拉普拉斯的天体力学等。它们有较深的理论、精辟的见解，在某一学科领域内有重大意义，然而能全面反映当时天文学水平的书还要数《天文学纲要》，这是一本近代天文学的标准教科书，对于要全面了解天文学概况的中国读者来说，这是最合适不过的了。

《谈天》虽不是全译本，但删节得当，体现了原著的基本精神。



第一，它给读者以明确的近代天文学理论体系。全书以哥白尼体系立论，用开普勒三定律和引力定律阐述太阳系天体的运动原理。明确告诉读者“地为球体，乃行星之一也”[①]，“地绕日，月绕地，已知之无可疑矣。而地何以绕日，月何以绕地，且俱终古不停也，今特推阐其理。”[②]

第二，《谈天》给读者建立了清晰的天球概念。这是球面天文学建立天球坐标系的基础。自古以来，人们居地观天，人犹居天之中心，各种天体视运动都演示在这个天球上，打破这个视天球即是宇宙的观念，是近代天文学区别于古典天文学的关键。《谈天》从地的形状开始，建立视天球概念，专辟一节来解释天文学名词，天球上的基本点和基本平面、天球坐标系、投影原理等，是第一个天文学名词词典。

---

① 《谈天》卷一。

② 《谈天》卷八。

第三，建立科学的太阳系概念。这是近代天文学的重要内容。《谈天》十八章中的九章重点叙述这一部分，包括以太阳为中心的八大行星、小行星、彗星、流星群、卫星系统等，它们的运动规律，受摄运动中轨道根数如何变化，没有用繁复的公式来讲解天体力学原理，这可算创举。

第四，介绍太阳系的物理状况。这是天体物理学诞生之前人们对太阳系物理状况的最初研究，虽然有些知识后来证明是不确切的，但这是首次向中国读者展示天体的物理面貌。这里包括太阳黑子结构、临边昏暗效应、太阳能源的猜想，月亮上没有空气、冷热变化剧烈、无四季、重力只及地球 1/6，火星极冠，木星条纹，土环形状变化原因，彗头和彗尾的形状，等等。

第五，区别于太阳系的恒星世界结构。这是首次建立天体结构层次的概念，打破了古典天文学的宇宙就是日月五星加恒星的混沌概念。这里除了有恒星位置的测定和星座划分之外，主要是新发现的恒星现象，双星、变星、聚星、星团、星云，以及银河系结构等新课题。

第六，详细介绍影响天体视位置的诸因素。除中国古代已知的岁差、蒙气差、地平视差之外，还有新发现的光行差、章动、周年视差等内容，丰富了天体测量学的内容。

《谈天》以如此丰富的天文学知识，引起了广大中国读者的兴趣，比起禁锢在钦天监里的御用天文学，这里有广阔的天地。与中国天文学以历法为主线相反，《谈天》十八章中只有一章是历法，当然更没有星占的一席之地，可见它对中国古典传统天文学的冲击是多么巨大。

四、中国近代天文学先驱



徐光启（1562—1633）同开普勒（1571—1630）、伽利略（1564—1642）是同时代人，就在那个时代，望远镜知识也已传到中国。而李善兰（1811—1882）同约翰·赫歇耳（1792—1871）以及发现海王星的勒威耶（1811—1877）、亚当斯（1819—1892）是同时代人。在《谈天》一书出版之前，中国天文学还停留在《崇祯历书》的基础上，顶多加上了地心的椭圆面积定律，天文学的内容大体仍是编历和观天象。

这一情况的改变终于在李善兰手上实现了。《谈天》一书的出版和李善兰的工作，在许多方面改变了中国天文学的形势。首先，它打破了古典体系中本轮均轮、天动地动、日心地心的争论，建立起科学的太阳系既念；第二，突破了中国天文学以编历、观天象、宫廷星占为主的框框，把目标面向整个宇宙；第三，它打破了天文学官办和皇家垄断的性质；第四，跟随《谈天》而问世的许多科普书籍和杂志，开创了近代天文学知识的宣传活动，李善兰的教学工作也是其中的一部分。



如果说在经过200多年的准备以后，中国从此真正开始了近代和现代天文学事业的基础建设，李善兰的工作可算起了重要的推动作用。可以将这种基础建设分成三种类型，第一类是思想基础，认识近代现代天文学的内涵、研究目标和方法；第二类是物质基础，添置仪器、设备；第三类是人才基础，培养了解近代现代天文学知识、研究方法和手段的人才。1859年《谈天》出版以后，我国陆续出现了不少科学杂志和书籍，其中讲述近代天文学知识，在青岛、佘山建设了天文台、购置望远镜等仪器，在北京和福建设立了同文馆和船政学堂等教育机构。李善兰的工作为第一、三两类基础建设作了开创性的贡献。

五、李善兰和伟烈亚力

《谈天》一书由二人共同翻译，伟烈亚力口译，李善兰删述，其创作之功，二人皆有之，不可否定。

伟烈亚力是一位宗教徒，他虔诚地为教会服务，做科学宣传是他工作的另一方面。1853年他自述曰："余自西土远来中国，以传耶稣之道为本，余则兼习艺能。"[①]晚年主张宗教、科学并重。

他1815年生于英国，早年是伦敦木工，因向往中国而努力自学汉语。1846年伦敦教会物色一人来上海主持教会的印刷所，遂应荐来华。1847年抵上海，在中国工作了30年，1877年视力减退返英，1883年失明，1887年逝世。入华初期与中国人共译科学著作，其中《几何原本》后九卷、《代数学》、《代微积拾级》、《谈天》、《植物学》等，均有较大影响。在中国又学了满文和蒙文，1863年至1877年遍历中国18个省区，散发中文本圣经，做了大量教务工作。1857年在上海主办《六合丛谈》，担任英国皇家亚洲学会北华分会副主席，编辑《北华捷报》，1874年恢复了曾停刊的《中国报道和宗教杂志》。他研究中国文化和政治，著有《中国书籍介绍》，包括了2000多种古籍及题解，还有《中国数学》《西安府的景教碑》《在中国的犹太人》等，他还将中国古籍中的日月食记录、郭守敬的天文仪器介绍到国外。



与李善兰合作翻译《谈天》等科学著作，是他来华最初10年间的事。其后的时间大都从事教会的事务，从这里我们似乎看到了利玛窦"学术传教"的影响。在《谈天》序言中，他更清楚地讲到了译此书的目的："欲令人知造物主之大能，尤欲令人远察天空，因之近察己躬，谨谨焉修身事天，无失秉彝，以上答宏恩，则善矣！"这同李善兰写的另一篇序言均出于此点。[②]

在《谈天》初版(1859)扉页前，还有伟烈亚力为翻译此书写的一个英文说明，过

① 《数学启蒙》序。

② 席泽宗等：《日心地动说在中国》；薄树人主编：《中国天文学史》第十章。

去鲜为人注意。从内容来看，他精辟地分析了中国古代天文学，尤其是利玛窦来华以后中国天文学的发展形势。摘译于此：

> 中国古代就注意天文观测，仅用于天文年代学的数学计算。17世纪耶稣会传教士来到中国，带进了欧洲天文学知识，但仅限于太阳月亮表、行星运动的基本数据。中国一般人不能懂得其中的道理。汤若望等人编纂的巨著《崇祯历书》一百卷，采用托勒密的圆运动体系，地心的本轮均轮系统，虽然在100年前哥白尼的学说已经问世，伽利略的贡献已为此提供了证据，但这一理论未能使中国人知晓，甚至哥白尼的名字也很陌生。第谷是一位天文观测大师，他的一些发现被介绍到中国，不久后王锡阐写了几本天文书，采用了奇怪的第谷体系。18世纪中康熙帝下令编纂《历象考成》，根据汤若望传授的理论进行编表工作，18世纪中的《后编》中由徐懋德、戴进贤引入了开普勒的椭圆面积定律，但以地球为中心。几年之后，有名的欧洲传教士蒋友仁给皇帝带来了一件礼物，清晰而坚定地描述了太阳系，他比较了哥白尼、第谷和其他人的理论体系，明确提出地球的运动，土星环和五个卫星，四个木卫，金星位相，地为球形，太阳黑子及绕轴自转。但是这一些都未公开出版，只是宫廷的几个领导人知道。这些星空科学的泄露以及新老传教士不同观点的描述，自然使一些中国人产生怀疑，促使他们更多地去考虑，而对外国人增加了反感。
>
> 自从上述传教士以后，直到1849年没有任何新的天文学消息传到中国。1849年霍勃松(Hobson)博士发表了一篇通俗的论文，包括天王星和四个小行星的发现，引力作用，潮汐理论，彗星理论，银河可分解成恒星等。与此同时，使我相信，翻译赫歇耳的《天文学纲要》能更全面地反映欧洲当前的天文学理论面貌，这也是可被乐于接受的。这里有牛顿的引力定律，开普勒定律，根据这一理论而发现了海王星，50多个小行星，还有恒星光行差和视差的发现，彗星长周期回归。更值得注意的是双星和变星以及星云天文学的发现，太阳的空间运动，流星辐射点的解释等。对这些问题的现代研究一定是有兴趣而有益的，它不能不使一些人的好奇心觉醒。通过更好地介绍自然界的若干事实，必能更合理地提高这样一些概念，即"上帝创造了几十个天体的轨道，以他的威力创造了地球，以他的智慧建立了世界，按他的全知展布于天穹"，这就是译者的希望。



这一篇说明包含了他对中国天文学状况的深刻分析，不无实情的描述；他对《天文学纲要》的选择无疑也是正确的；他想通过能被中国人乐于接受的自然界的若干事实，觉醒他们的好奇心，最后有悟于上帝的威力。他用英文写的这一段大概



是想跟欧洲人讲述他的真正用意吧！

李善兰同伟烈亚力合作多年，译书甚多。难能可贵的是他仍保持自己的独立意旨，他是在学习研究了中国数学以后接触西方科学著作，寻求新知识的，翻译的过程也是学习研究的过程。通过《谈天》的翻译，他感到地动（太阳为中心）和椭圆（开普勒定律）是太阳系问题的根本所在，故在序言中强调这两点，“此两点之故不明，则此书不能读。”至于伟烈亚力希望中国读者能由此悟出上帝的全能全智这一点，李善兰作为译者也可称第一个中国读者，就没有如他所愿。

尽管李善兰和伟烈亚力译书的目的不同，但他们的合作应该说是成功的。每成一书都是两人共同努力的成果。从后来江南制造总局译书的方法中，我们可以看到当年他们合作译书的大体情况：“译书之法，必将欲译者，西人先熟览胸中而书理已明，则与华士同译，乃以西书之义逐句读成华语，华士以笔述之。若有难言处，则与华士斟酌，何法可明。华士有不明处，则讲明之。译后华士将初稿改正润色，令合于中国文法。有数要书临刊时华士与西人核对，而平常书多不必对，皆赖华士改正。”[①]从此可见两人的工作是多么认真和困难。《谈天》一书的删述繁简得当，重点介绍了最新的天文发现，恒星天文部分几乎没有删节，天体力学和无体测量部分虽有删节，也保持了原著的科学性，这都是李善兰的贡献。

六、对中国天文学名词的贡献

我国的天文学名词，除固有的北天星宿名称和肉眼天象名称之外，自望远镜发明以来，几乎一切天体力学、天体测量和天体物理的名词术语，均来源于欧美。我国又习惯于意译天文名词，纳入汉词科技规范。而意译的过程乃是一次再创造。李善兰在名词翻译方面是意译习惯的先驱者之一。



翻译西书，“中西诸士皆知名目为难”。在李善兰之后，江南制造总局翻译西书时议论多时，略定了三条原则。这可能正是李善兰等人译书时对名词工作的经验总结。一是华文已有之名，则尽量采用，如日、月、彗、金星、木星、黄道、赤道等；二是设立新名，往往以平常字加偏旁，或不常用字释以新意，此类对化学元素之名用得颇多，再则是以简短的词解释其意义，即以此解释为名，字数以少为妙，如光行差、自行、风雨表、火轮船等；三是作中西名词字汇，所设之新名包括地名人名事物名都随时录下，刊于书后，以便阅者核查或问诸西人。而各书内所有之名宜汇成总书，制成大部，则以后译书者有所核查，可免混名之弊。这三点现在看来都很合适，而且还在继续遵守使用。

---

① “江南制造总局翻译西书事略”，《格致汇编》1880年春季号。

在《谈天》初版的扉页上即印有中西天文名词术语表，列出了书中345个天文名词的译法，考察这一份对照表是很有价值的。

这些名词中，一部分是采用中国固有的词，如日、月、地、五个大行星、彗、流、陨、朔、望、弦、冲、伏、掩、潮、汐、赤道、黄道、子午圈、卯酉圈、岁差、岁实、四时、留、逆行、春秋分、冬夏至等，要在中国词语中找到与外文中意义相同词的对应，首先得对中国古代天文学名词比较熟悉，不具备中国天文学知识是困难重重的。

大部分名词和术语是新创译的，而且都是意译，只发现一个是音译，即佛逆（游标，Vernier）。这些意译的名词中有不少至今使用，被确认为规范的名词。如光行差、高度、历元、方位、星团、双星、偏率、摄动、根数、椭率、赤道仪、出差、球状星团、天平动、月角差、二均差、章动、变星、自行、四合星、三合星、黄道光、天王星、海王星、天顶、天底、蒙气差、墙环、律会等30多个。

新创译的名词术语中大约有120个现已不再流行，但具有历史意义。看到这些词汇可以知道当年为了接受近代天文知识曾经历过多少艰辛。这些名词术语可摘要介绍一些。如金钱食（环食）、环形星气（环状星云）、昼长圈（北回归线）、昼短圈（南回归线），等等。

特别应提一下各小行星的名字，最初小行星是以希腊或罗马神话中的女神来命名。《谈天》初版列出54个，按神话中女神的身世、仙职、特长意译成中名。如一号小行星谷女，二号武女，七号虹女，八号花女，十号医女，十二号胜女等。这些译名十分贴切，表示了他们严肃认真的态度。

除了上述几类名词术语，还有一类现在已消失的词语，如高度仪，即地平纬仪，现已是经纬仪的一部分，量星镜（Astrometer）实为望远镜。



关于人名和星名，古今译名不同。如：奈端（牛顿），比乙拉（比拉），好里（哈雷）等。这些名词在阅读《谈天》时可能使你很费解，但作为译者，他们当时还是花很大的工夫使其中国化，现在看来不如保留原文，这也许是他们当初没有料想到的。尽管如此，李善兰在天文学名词方面的开创性工作是永远值得纪念的。

七、对麟德历二次差内插法的几何解释

《麟德历》是唐朝李淳风所撰历法，其中采用了刘焯在《皇极历》里首创的等间距二次差内插法，用来计算太阳和月亮不均匀运动的改正值。李善兰研究了《麟德历》的方法，于1848年写成《麟德术解》三卷。他在这里提出了许多正确意见，尤其是对二次差内插法做出了几何解释。

由于太阳和月亮分别在黄道和白道上视运动，其速度是不均匀的，因而产生改正问题，改正值一般是在平均运动值上加或减一些量，使之尽量符合实际天象。改



正值包括两项,一项由太阳不均匀运动引起,一项则来自月亮。可简称为太阳改正和月亮改正。据研究,太阳改正为:

$$太阳改正=\frac{太阳实行度-太阳平行度}{月亮实行度-太阳实行度}$$

月亮改正的公式与上式类似,只是分子是月亮实行与平行之差。分母是一个随时间而变化的变量,在计算中不易求得,故以月亮和太阳平行速度之差来代替,一般影响不大。因而问题归结为如何求分子。在每个历法的日躔表和月离表中给出的值就是分子,但不是任何时刻都给出来了,而是只能给出某些特定时刻的值,对于任何时刻的分子值就要用内插法来求,这就是各历法中日躔术和月离术的内容。

《麟德术解》卷一是解释日躔术的,它采用了运动学中已知速度求行程的几何方法,见图 8－18,横坐标是时间,纵坐标是太阳视运动速度,单位时间内所围的面积就是这一段时间内的实际行度,减去平行度就是要求的差值。如图 8－18 中 $abdc$ 的面积就是从冬至到小寒这两个节气之间太阳实行度与平行度之差,$cdfe$ 的面积就是下一个节气间的值,依此类推。日躔表中按不同节气给出的躔差率即是这些值。

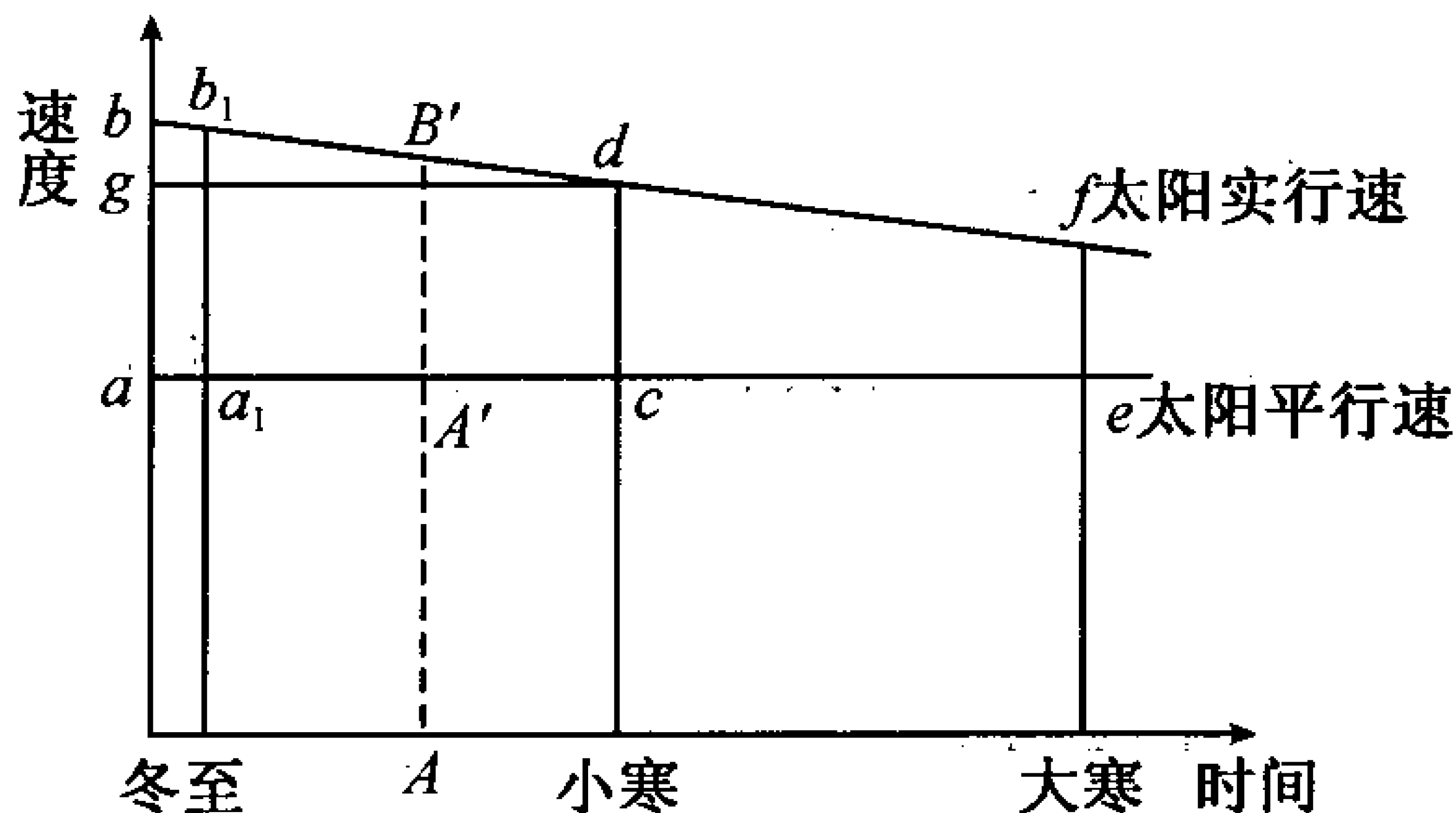


图 8－18 太阳实行平行示意图



问题是日月合朔不正好发生在交节气的时刻,而是任意时刻 A,此时太阳的躔差率即为 $abB'A'$ 的面积,步日躔的术文就是叙述求这个面积的方法。李善兰的研究即指出了上述图中的几何意义,对于月亮也有类似的图。

历来研究中国古代历法的学者,对于日躔和月离都从方法上进行阐述。在李善兰之前,没有一个人能用几何图形显示这些方法的意义。

几何解释法使人有清晰的概念,便于发现术中存在的问题,李善兰正是由此提出,气初率同初日率不一样。所谓气初率即图中的 ab,是正交节气时太阳实行速与平行速之差,初日率是图中 abb_1a_1 的面积,是气后第一天内的躔差率,即第一天结束时太阳实行度与平行度之差,即使 $aa_1=1$(天),这个面积的数值也不等于 ab 的

数值，因为 bb_1 是太阳实行速随时间而变化的图形。

李善兰又指出，根据上述方法求得了太阳改正和月亮改正之后，要在最初的时刻 A 上进行加减，这就产生了继续再求第二次修正的必要。《麟德历》对太阳改正不求二次修正，而对月亮改正求了二次修正。李善兰认为，郭守敬的平立定三差正是在这个基础上发展起来的。他认为"仅加立差犹未也，必欲合天，当再加三乘四乘诸差。后世有好学深思之士，试取我说而演之，其密合当不在西人本轮均轮椭圆诸术下，李（淳风）氏实开其端，创始之功又何可没也。"[①]李善兰的话前一部分是对的，后一部分可能有不恰当的地方。

从图中可以看到，太阳实行速是一条随时间而变化的曲线，在短时间内可以近似地当成直线，$abdc$、$cdfe$、$abB'A'$等图形可近似地当成梯形来求其面积，这就必然会产生误差，所以按这样的方法再加上三乘四乘诸差以后，误差必然会积累起来，是不可能消除的。

此外，由于李善兰画图时没有留意，将三角形 bdg 画成了等腰直角三角形，误认为 bg 同 dg 相等，这是不对的，bg 是某节气初和末两个时刻的速度差，dg 是一个节气的时间长度，把这两个量误认为相等，就相当于把太阳（和月亮）视运动速度的斜率当做 45°，这只有在它们运行一个周期中某些特定时刻才是这样的。

八、对开普勒方程的研究[②]

任何给定时刻行星的位置由椭圆面积定律所决定，时间和位置的关系满足开普勒方程，即

$$M=E-e\sin E$$



其中 M 是平近点角，即给定时刻行星按平均角速度所走过的角度，从近点起算；E 是偏近点角，e 是椭圆轨道的偏心率。它们的意义可以从图 8－19 中看到。

APL 是椭圆轨道，F 是焦点之一，A 是近点，$AP'M$ 是以半长径 a 为单位的辅助圆。某时刻行星到达 P 点，$\angle AFP=v$，是真近点角，$\angle AOP'=E$，是偏近点角，$\angle AOC'=M$，是平近点角，M 和 E 的关系就是上述开普勒方程。

自从《历象考成后编》首次引进椭圆面积定律以后，即开始研究对椭圆运动的解算，问题包括两个方面，其一是根据观测得到行星[③]的真实位置，即真近点角

① 《麟德术解》卷一，1848 年。

② 本节参阅了薄树人的论文《清代对椭圆轨道运动的研究》(摘要)，发表于 1980 年中国天文学史研究成果交流会。

③ 当时是用地心椭圆面积定律，地球在焦点 F，P 为太阳或月亮，从纯数学角度来看，这种安排是很自然的。当时也没有提及行星问题，这都是传教士造成的。



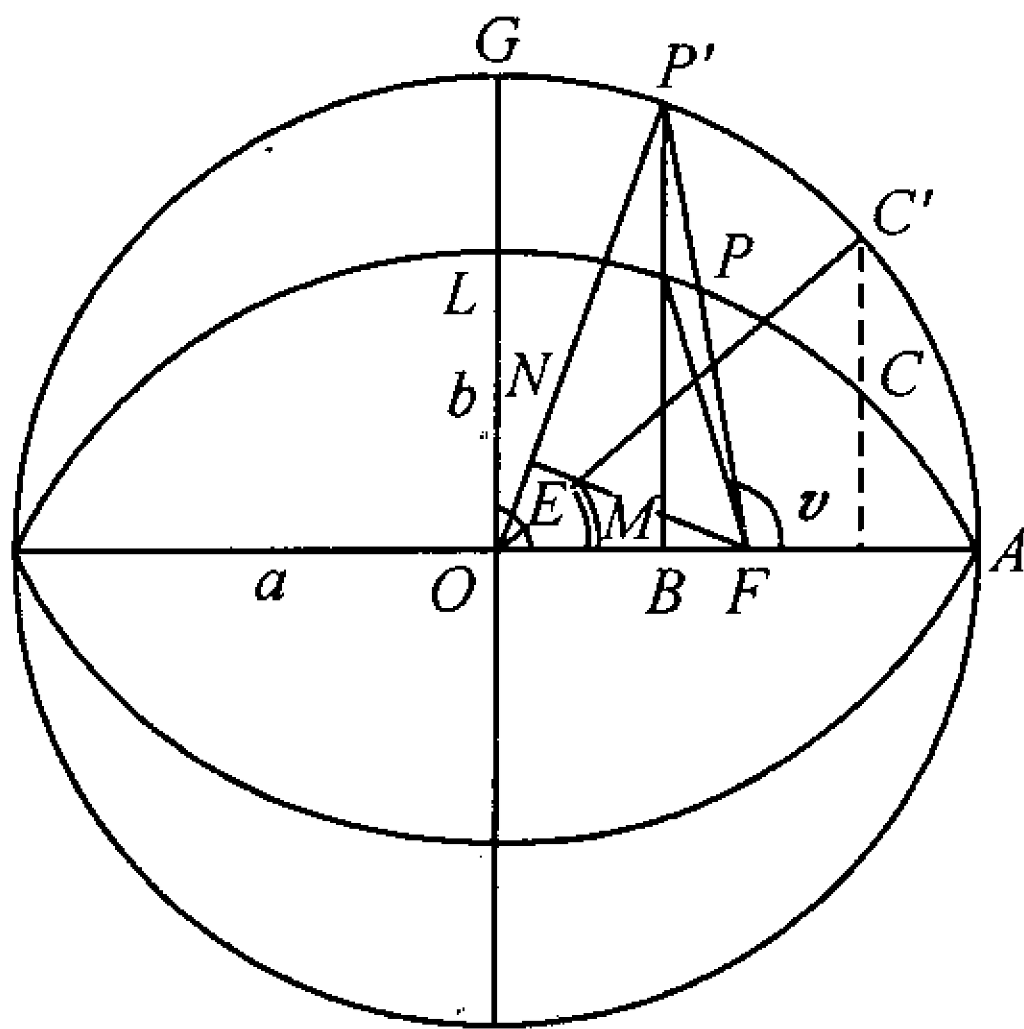


图 8－19 椭圆定律中近点角偏近点角示意图

$\angle AFP=v$，如何求按平均运动计算的平近点角$\angle AOC'=M$，这叫"以角求积"；其二是反向运算，即通过平均运动推求给定时刻的行星观测位置，就是如何从 M 反求 v，这叫"以积求角"。另外又有"借积求积"和"借角求角"两种算法，目的也是反向运算，这是通常最常见的问题。

鸦片战争以后，徐有壬批评了《后编》的方法"取径迂回，布算繁重，且皆系借算，非正术也"，因此他自己另写了一本书，名曰《椭圆正术》。1860 年至 1862 年间，李善兰任徐之幕宾，读了徐的书，认为"法简而密，尤便对数，驾过西人远矣！但各术之理俱极精深，恐学者骤难悟入"，当时自己在幕中，"客窗多暇，辄逐术为补图详解之"[①]，写成《椭圆正术解》二卷。不但如此，他又进一步研究，提出了更简便的方法和级数展开法，成《椭圆新术》一卷，这些都是求解开普勒方程的内容。后来他又写了《椭圆拾遗》三卷，是关于椭圆的数学性质的，故这里不去讨论。

《椭圆新术》是李善兰提出的方法，比徐法更简单。第一术是"以角求积"，即已知真近点角 v，求平近点角 M，见图 8－19，图中椭圆可看成外辅圆在某一平面上的投影，故 APF 的面积与 $AP'F$ 的面积之比等于椭圆面积与外辅圆面积之比，而且还有：

$$\frac{OL}{OG}=\frac{b}{a}=\frac{BP}{BP'}=\frac{BP/BF}{BP'/BF}=\frac{\tan v}{\tan\angle BFP'}$$

$$\tan\angle BFP'=\frac{a\tan v}{b}\quad（\angle BFP'\text{可以求出}）$$

在$\triangle OP'F$ 中用正弦定理：

$$\frac{\mathrm{OP}'}{\sin\angle BFP'}=\frac{OF}{\sin\angle OP'F}$$

① 《椭圆正术解》卷一。



OP'是半长径 a，OF 是两心差 $c=ae=\sqrt{a^2-b^2}$。

$\sin\angle OP'F=e\sin\angle BFP'$，$\angle OP'F$ 可以求出，$\triangle OP'F$ 中两个角已求出，故第三个角$\angle FOP'=E$ 即偏近点角也可以求得了。

$$BP'=OP'\sin\angle FOP'=a\sin E$$

$\triangle OFP'$的面积$=\frac{1}{2}\cdot OF\cdot BP'=\frac{1}{2}\cdot ae\cdot a\sin E=\frac{ea^2}{2}\sin E$

作辅助线 $FN\perp OP'$，则$\triangle OFP'$的面积又等于$\frac{1}{2}\cdot OP'\cdot FN=\frac{a}{2}\cdot FN$

$$\frac{a}{2}\cdot FN=\frac{ea^2}{2}\sin E,\ FN=ae\sin E$$

在外辅圆上截取$\overset{\frown}{P'C'}=FN$，则扇形 $P'OC'$的面积将等于$\triangle OFP'$的面积，故 $AP'F$ 的面积等于扇形 AOC'的面积，按投影的原理，AOC 的面积必等于 APF 的面积。这样求得的 AC'弧对应的圆心角$\angle AOC'=M$，即为所求的平近点角。就是说实际观测到行星运动到 P 点时，按平均角速度计算才到达 C'点。

从上面的叙述中可以看到，李善兰的方法还有一些地方可以简化，例如求 FN 不必要用三角形之面积，一些角度和线段之间成比例可不必多说，在求 E 角时李善兰用外角$\angle AFP'$减去内角$\angle OP'F$，此时外角还要用$(v+\angle BFP'-180°)$才能求得，李善兰既未指出这一步骤，也是可以简化掉的(上文的叙述中已经简化了)。更重要的一点是在截取 $P'C'$弧与 FN 等长时是容易带来误差的，而这又是此法的关键步骤。

李善兰《椭圆新术》的第二术是“以积求角”，即已知 M 求 v。首先从 M 求 E，再从 E 求 v。M 和 E 满足开普勒方程，这是一个超越方程，不能用普通的代数学方法求解，一般用逐步近似法。李善兰独创了用级数展开的方式来求，他给出了二个级数：

过远点以后的级数：

$$\begin{aligned}E=M&-(e-e^2+e^3-e^4+\cdots)M\\&+(e-4e^2+10e^3-20e^4+\cdots)\frac{M^3}{3!\ a^2}\\&-(e-16e^2+91e^3-336e^4+\cdots)\frac{M^5}{5!\ a^4}\\&+(e-64e^2+820e^3-5440e^4+\cdots)\frac{M^7}{7!\ a^6}\\&-\cdots\end{aligned}$$

过近点以后的级数[①]：

① 这一级数的系数中均为正号，疑为正负相间，但各版本均如此，留待以后证实。



$$E=M+(e+e^2+e^3+e^4+\cdots)M$$
$$-(e+4e^2+10e^3+20e^4+\cdots)\frac{M^3}{3!\ a^2}$$
$$+(e+16e^2+91e^3+336e^4+\cdots)\frac{M^5}{5!\ a^4}$$
$$-(e+64e^2+820e^3+5440e^4+\cdots)\frac{M^7}{7!\ a^6}$$
$$+\cdots$$

从 M 得到 E 以后，$BP'=OP'\cdot\sin E=a\sin E$

$$\frac{BP'}{BP}=\frac{a}{b},\quad BP=b\sin E$$

又，$OB=OP'\cdot\cos E=a\cos E$

$$BF=AB+OF-AO$$
$$=(a-a\cos E)+ae-a=a(e-\cos E)$$
$$\mathrm{tg}v=\frac{BP}{BF}=\frac{b\sin E}{a(e-\cos E)}$$

故 v 可以求得。

在这一段推演中可以看出，BF 的求法稍嫌烦琐，其实 $BF=OF-OB=ae-a\cos E=a(e-\cos E)$，直接可以求得。

李善兰给出的级数是一个双重级数，即各项系数又是一个无穷级数，在实际计算中可能会遇到一些困难。因当取级数前几项时，其系数取多少项颇难掌握。尽管如此，用级数展开的方式毕竟是一种首创，有其积极意义。最后需要说明的是，李善兰详细说明了各项系数中常数的构成方法，恰没有说明这个级数是怎样求得的，给李善兰提出的这个级数补上一个证明将是今后的任务。



李善兰的天文学工作，除了上述提到的，还有他在京师同文馆的天文教育，他对《戊寅历》和《大衍历》个别数据的校勘。综上所述，他努力介绍近代天文学知识，研究开普勒方程，解释近代天文学的方法，教育学生，他确实为我国天文学的近代化作出了重大贡献。

（撰稿人：刘金沂）

总　跋

《中国天文学史大系》(以下简称《大系》)的研究和编著计划,创意于20世纪70年代末、80年代初。

早在20世纪70年代后期,在中国科学院的直接领导下,组织有一个中国天文学史整理研究小组,小组的成员分别来自北京天文台、紫金山天文台、南京大学天文系、北京天文馆和自然科学史研究所。这个小组的主要任务是编著一部《中国天文学史》。为了把天文学史的整理研究工作引向深入,小组还编辑了《中国天文学史文集》(1~3辑,科学出版社出版于1978、1981和1984年)、《科技史文集·天文学史专集》(1~4辑,上海科学技术出版社出版于1978、1980、1983和1992年)[①]。

1978年,《中国天文学史》书稿编著完成,交付科学出版社出版。当此之时,中国天文学史整理研究小组的同志们觉得历史上遗留下来的中国天文学史资料浩如烟海;中国天文学的历史发展也极其丰富多彩,既是整个中国文化史上一个富有特色的部分,也是世界科学史上一个极具魅力的部分。已经完成的《中国天文学史》一书虽然达到了一定的深度,在当代中国天文学史众多的出版物中是一部具有较强学术性的综合性专著。但是,总的说来,该书作者们认为,限于篇幅,也限于时间和条件,许多问题总觉得言犹未尽,全书的规模也不能与真实历史的瑰丽多姿相匹配。为此,自1979年起,人们开始思索:是否有可能编著一部与中国天文学的悠久历史和广阔内涵相适应的中国天文学史著作?商议的结果便是《大系》构想的诞生。时在1979年冬。



以后,此构想在全国天文学史界用多种方式征询意见,获得全国天文学界同行的鼓励和支持,构想日渐成熟。

1983年4月,中国天文学史整理研究小组解散,但为了部署今后的中国天文学史研究工作,中国科学院原数理学部在宣布解散该小组的同时,召开了《大系》的工作会议。会上确定了整个《大系》有16个子项目,这些子项目由7个归口单位分工负责。同时确定了以中国科学院自然科学史研究所为主编会议的召集单位。

此后,由于种种原因,主编会议虽开过多次,但核心的问题——科研经费一事

---

① 第4辑编成于1984年,时中国天文学史整理研究小组已经解散,只因出版社为了保持一定的连续性,编者的名字不宜改得太突然,故仍使用了该小组的落款。至于到1992年始克出版,这是由于种种复杂而可理解的原因所致,在此不赘。



却始终无法解决。因此,工作始终无法具体落实。这中间虽曾获得一笔国家自然科学基金会的资助,但数额极其有限,整个《大系》工作,仍无法启动。

时间一晃,过了7年,此时得到了两个意外的支持。其一,由于学术界老前辈、自然科学史界的泰斗之一——钱临照院士的关怀和过问,中国天文学界的老前辈王绶琯院士、叶叔华院士的鼎力支持,中国科学院数理化学局给予了经费支持,同时,该局的天文处通过天文委员会的同意也提供了部分经费。《大系》由此得到了启动的科研经费。其二,河北科学技术出版社在省新闻出版局领导的支持下,积极支持大型的、有重大科学意义的著作出版。他们知道了《大系》的编著计划后即向省新闻出版局申请了一笔专项出版基金,总数达70万元之巨。《大系》的著述计划得到了这两项强有力的支持后,遂于1990年秋,在北京召开了工作会议,重新调整的子项目为15个(原定16个子项目的负责人中已有一位英年早逝,一位患中风,无力再承担繁重的工作),组织起新的工作机构班子,于1991年经费到位后开始工作。

整个计划原定1993年完成,1995年书出齐,但由于种种复杂的原因,直到1997年7月编著工作才基本结束,这中间还包括了两项子课题的调整精减。最终完成的是一部13个子课题的《大系》。当然,作为一件科学作品而言,主持人总觉得有所缺憾,有所不满足。但是,既然主客观条件只能允许做到现在这样的程度,那么,我们也只能实事求是地来承认这个事实,并从客观现实的情况出发来评价这个事实。

第一,《大系》是迄今为止中国天文学史著作中部头最大的一部,其所涉及的深度和广度有许多都超过了以往的有关作品。例如,《中国少数民族天文学史》、《中国古代天文机构与天文教育》、《中国古代天文学词典》等,这些卷的内容过去从未有过完整而系统的研究和著述。这是《大系》的特有产品①。



第二,《大系》中其他各卷的内容或多或少,都有前贤们作过探究,但这次聘任的有关各卷主编,均系对各自的课题有过长期研究,多有心得的。在《大系》中他们都作出了最大的努力,即使如古代天文学思想、历法等这类古老的课题,也都有大量超乎前人的发现。至如星占术这一课题,自20世纪80年代以来受到著述家的诸多偏爱。但究其竟,大多为非天文学家的作品,对星占术的研究往往只限于社会学、历史学方面的考虑,而对星占术本身的来龙去脉、结构、原理往往无暇涉及。《大系》中的《中国古代星占学》则弥补了以往学术界的不足,深入到星占术本身的深层结构,剖析了星占术本身的发生、发展和结构、原理,从而为这一方面的研究向学术界提供了一个可靠的基础。又如,关于中国近现代天文学史,过去著述极少,只有以往陈展云、陈遵妫两位天文学界前辈曾作系统的著述。但陈展云先生的作

① "天文机构与天文教育"卷是最早交稿的(1994年),此后,我们发现在台北市出版了一部讨论天文机构,主要是中央机构的专著。但是,有关天文教育的内容仍未见有系统性的专著问世。

品是内部出版物，传世极其稀少，今已难见到。陈遵妫先生则是在其专著《中国天文学史》第四册辟有第十篇共9章17万余字来论述这一课题。陈先生是中国现代天文学发展的亲身参加者，其文多有珍贵史料。但无可讳言，其中也有若干出自回忆和传闻。待考之处，在所难免。《大系》中这一课题的主编苗永宽先生，学风极其严谨，断事行文每每必据可靠之档案文献，不可靠的传闻则必摒弃。故其总的篇幅或虽稍少于陈遵妫先生之书，但也每多可以引为参考，或补陈书所不足。至若《大系》其他各卷之长处，读者明智，自有鉴别，也勿庸我们多饶舌自夸。

第三，如同任何事物一样，《大系》自然也是一分为二的。由于种种原因，《大系》还有各种不足。首先，取消了两个子课题，这样一来，"中国天文学史导论"卷的删除，使《大系》缺少了一个总的理论框架和经验总结，并且原定的"中国天文学的起源"和"中国天文学在国外"两卷，也因故而取消，这是非常可惜的事。至于另一个子课题"中国天文文献史料学"一卷，则是属锦上添花的工作，它的被删除虽也有点可惜，但好在整个《大系》已是花团锦簇，暂缺这一项留待他日补裁也不为大害。

其次，由于本人才疏学浅，加之20世纪90年代以来又复疾病缠身，故对《大系》之学术编辑和加工的力量极其不足，于是许多卷的学术编辑加工仍只得依靠各位主编本身，致使这部由数十人参加编纂的巨著，总不免有互相抵牾各卷中疏漏差错之处也有多寡不等的存在。虽然这一切可以诿之于文责自负，但却给读者带来一些困惑和烦恼。这是作为我本人主其事者所最为不安于心的。在此我们不敢企求读者的原谅，而只是希望读者能严肃而具体地予以批评。这对我们固然是巨大的帮助，而且对整个中国天文学史的工作也是一种促进和帮助。

可以理解的是：像《大系》这样规模巨大的科研、著述工程，自始至终必须有许多单位和个人的大力支持，始克有成。虽然开列一份感谢的名单将会非常困难，但我们总觉得不见诸笔端，内心感到不安，特别有许多老同志，已退休有年，但他们的支持我们是绝不能忘怀的。



为《大系》提供研究经费的单位有：中国国家自然科学基金会；中国科学院数理化学局及天文处；中国科学院天文委员会；中国科学院自然科学史研究所。

在为《大系》争取或提供科研、著述经费活动中发挥了重大作用的个人有：

钱临照、叶叔华、王绶琯、钱文藻、李满园、刘佩华、王宜、苏洪钧、汪克敏、汲培文。

《大系》是一项由多系统、多单位参加的大型科研项目。这其间必然涉及大量复杂的科研组织、管理和协调工作，没有这些复杂的工作，《大系》的开展并完成是不可能的。就这一方面而言，《大系》始终依靠着中国科学院原数理学部和改革后的数理化学局的领导。而在早期，数理化学部则是通过天文处来进行领导工作的。



这期间天文处先后有李荣竞、唐廷友、沈海璋、王宜等为《大系》做过许多工作[①]。尤其是王宜，可谓伴随《大系》立项的始终，为《大系》的组织协调和经费支持，对上下左右做了大量工作，为《大系》排除了许多我们力所不能及的障碍和困难。

20 世纪 90 年代数理化学局的李满园、刘佩华对《大系》作了全力的支持，经过他们的努力，《大系》项目成为中国科学院的一项重点科研项目。他们二位加上王宜和陈美东组成了《大系》工作的协调委员会。

1983 年以后，经数理学部委任，自然科学史研究所成为《大系》主编会议的召集单位，90 年代以后，自然科学史研究所又是编委会主任的所在单位，因此，《大系》作为中国科学院的重点科研项目，自必成了自然科学史研究所历任所长和业务处长议事日程上经常要考虑、研究，并为之解决各种繁杂问题的一件大事。

对《大系》工作予以特别支持的历任所长是席泽宗、陈美东、廖克。其中前二位又是《大系》主编会议成员，他们作为主人，为《大系》出力是当然的。不过，必须指出的是，席泽宗在 20 世纪 80 年代曾作为主编会议的召集人，为《大系》工作的开展贡献了他自己的力量。陈美东为关键的 90 年代初的《大系》经费的获得作出了重要贡献。他还是数理化学局组织的监督《大系》经费使用的 4 人协调委员会成员之一。廖克则对《大系》给予了精神支持，在因各方面的原因使《大系》进度不及原计划时，他给予了理解和鼓励，使我这个项目主持人得以有勇气继续干到底。

自然科学史研究所的历任业务处处长、副处长黄炜、范楚玉、李家明、周嘉华、朱冰对《大系》给予了多方面的支持。吴晓峰也为《大系》后期的经费和上下协调工作方面作出了很多贡献。

至于其他许多有关单位的领导和个人的支持，我们在各卷的主编前言中都可以看到，我们在此也向他们一总致以深切的感谢。没有他们的支持和帮助，《大系》也是不可能完成的。



好了，书归正传，请明智的读者自己来阅读《大系》的正文，如果它能使您感到有所得，那是我们无上的荣光和欣喜；如果它使您感到有所失，那是我们最大的遗憾和不安。我们真诚地请求您给予严格的批评和指教。

《中国天文学史大系》编委会主任　薄树人

1997 年 7 月于病榻上

---

① 上溯到 1983 年以前，中国天文学史整理研究小组的日常管理和领导工作，由数理学部委托北京天文台代管。因此，当时有关的北京天文台的领导，尤其是负责业务领导的副台长洪斯溢，也曾为《大系》计划的形成和宣传贡献过他们的心力。

补 记

薄树人先生的"总跋"是1997年于病榻上写成的。就在其后的两个月,他便走完了人生的最后里程,离我们远去,"总跋"竟成了一曲令人心碎的绝唱。它真实地记录了《中国天文学史大系》(以下简称《大系》)从提出设想到基本完稿的艰辛历程,也寄托了期待《大系》早日出版的殷切希望。

《大系》完全定稿的时间大约是1999年,我们这些还活着的参与者本以为可以顺利出版了,不曾想原来承诺出版《大系》的出版社因故将出版之事一拖再拖,期间,我们期待、焦虑、苦闷之情,难以言表。2006年7月,该出版社以退稿的方式中止了出版合同,这不啻是对我们的致命打击。面对困境,大家合力,起而求生,先后联系七八家出版社,可惜均无果而终。

时光流逝,2006年11月终于迎来柳暗花明的时节。中国科学院自然科学史研究所廖育群所长到昆明开会,遇到中国科学技术出版社副社长吕建华先生,细细谈及了《大系》之事,吕先生对《大系》表示了很大的兴趣,愿意尽快研究出版的事;几乎与此同时,安徽教育出版社的杨多文先生到广州出差,向广东教育出版社副社长陈兵先生介绍了《大系》之事,陈先生也表示了很大兴趣,说可以考虑出版问题。我们对两家出版社怀有同样的感激之情。吕、陈两位都是基于《大系》乃是一个重要学术领域的原创之作的认识和出版社理当出版高水平学术著作的理念而作出判断的,这是出版家所独具的眼光和胸襟。他们对学术的推崇、他们的热情,给人以清新的气息,令人欣喜。



随后的发展,可以说是中国科学技术出版社和广东教育出版社之间的君子之争,这是大家都始料未及的。从出版意愿到完成全部选题审批的程序,两家都需要时间。此外,出版《大系》需要有较大的经费投入,对此必须有所筹措,而从经济实力上看,中国科学技术出版社不占优势。应该说,从办事的节奏上看,中国科学技术出版社要稍稍快一些,这给我们留下深刻的印象。2007年2月,中国科学技术出版社吕副社长与许英副总编率先正式提出了出版《大系》的具体而可行的设想。在征求了王绶琯院士及《大系》大部分作者的意见后,主要基于方便出版具体事项操作的考虑,我们选择了在北京的中国科学技术出版社,而对广东教育出版社表达了深深的敬意。

《大系》由中国科学技术出版社出版之事,得到了国家新闻出版总署有关部门



领导的赞许，他们表示：如果书号有困难，可以向他们申请。《大系》中的《中国古代历法》、《中国古代天文学思想》与《中国古代星占学》3卷很快被选入《中国文库》第三辑。中国科学院国家天文台、中国科学院自然科学史研究所与广州市教育局还愿意继续执行当年购书的允诺。这些都是令人鼓舞的好消息。

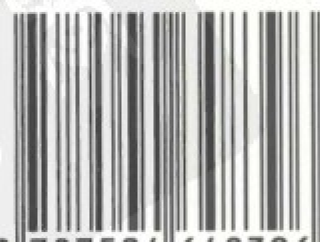
自2007年3月开始，《大系》在中国科学技术出版社进入了紧张有序的出版作业，多年修就的善果贡献给读者的时日可待。我们需要感谢的各界贤达，除了薄先生在“总跋”中已提及者之外，自然还应包括上述诸位。

陈美东

2007年6月于北京



中国古代天文学家


ISBN 978-7-5046-4839-6

9 787504 648396 >

定价：93.00 元